

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри

_____ І. Л. Лебединський

” ____ ” _____ 2020 р.

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Удосконалення магістральної електричної мережі 110/10 кВ з використанням програмного комплексу PowerWorld»

Спеціальність: 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ-61 _____ К. Ю. Швидкий

Керівник, к.т.н. _____ І. М. Дяговченко

Консультант з економічної частини к.ек.н., доц. _____ О.М.
Маценко

Нормоконтроль _____ М.А.Никифоров

Суми-2020

А-3 у 130% та падіння напруги ,на стороні високої напруги підстанції споживача 2, Рисункок 3.4 – Симуляція аварійного режиму (обрив лінії А-2), Рисункок 3.5 – Діалогове вікно лінії А-3 у аварійному режимі, Рисунок 3.6 – Налаштування параметрів генератора, Рисунок 3.7 – Фрагмент, відтвореної мережі, замкненого контуру споживачів 5 та 6, додаток 1 – схема заміщення без завдання параметрів, додаток 2 – вихідна електрична мережа, додаток 3 – електрична мережа 110кВ з проводами АС, додаток 4 – електрична мережа 110кВ з проводами АССР-TW, додаток 5 – електрична мережа 220кВ з проводами АССР-TW, додаток 6 – електрична мережа 220кВ з проводами АССР-TW та обраною кількістю проводів на фазу, додаток 7 – аварійний режим електричної мережі 220кВ з проводами АССР-TW, додаток 8 – аварійний режим електричної мережі 220кВ з проводами АССР-TW, додаток 9 – аварійний режим електричної мережі 220кВ з проводами АССР-TW при розподіленій генерації.

Реферат

с. 55, рис. 29, табл. 7

Бібліографічний опис: Швидкий К.Ю. Удосконалення магістральної електричної мережі 110/10 кВ з використанням програмного комплексу PowerWorld [Текст]: робота на здобуття ступеня бакалавра; Спец.: 141 – електроенергетика, електротехніка, електромеханіка /К.Ю.Швидкий; наук. Керівник І.М. Дяговченко. – Суми: СУМду, 2020. – 55 с.

Ключові слова : Удосконалення мережі 110кВ, PowerWorld, шина, генератор, лінія електропередач, трансформатор;

Усовершенствование сети 110кВ, PowerWorld, шина, генератор, линия электропередач, трансформатор;

Improvement of 110 kV network, PowerWorld, bus, generator, power line, transformer.

Короткий огляд – Проведено ознайомлення з PowerWorld. Здобуто навички роботи з програмним комплексом. Змодельовано та відтворено вихідну мережу. Розглянуто можливі шляхи вдосконалення вихідної мережі. Проведено перехід на основний клас напруги 110кВ. Проведено заміну проводів на сучасні АССР-TW. Додано розподільну генерацію. Підвищено надійність мережі в контурі напруги 35кВ. Підвищено стабільність роботи при аварійних режимах. Вирішено питання стосовно зниження технічних втрат. Підвищено пропускну здатність ліній.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....	9
1.1 Постановка задачі та вихідні дані.....	9
1.2 Загальна характеристика заданого об'єкту	14
1.3 Постановка задачі для моделювання	14
1.4 Ознайомлення з програмним комплексом	15
1.4.1 Чисельні методи на яких базується робота PowerWorld Simulator.....	18
2 РЕАЛІЗАЦІЯ ВИХІДНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ POWERWORLD	21
2.1 Параметри програмного комплексу PowerWorld і їх налаштування.....	21
2.2 Складання схеми електричної мережі	23
2.2 Завдання параметрів схеми заміщення.....	24
2.2.1 Завдання параметрів шин.....	24
2.2.2 Завдання параметрів ліній.....	25
2.2.3 Завдання параметрів трансформаторів	27
2.2.4 Завдання параметрів навантажень	28
2.3 Виведення необхідних величин на схему.....	28
2.4 Отримання результатів рішення.....	29
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМОДЕЛЬОВАНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУНКЦІОНАЛУ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ POWERWORLD	30

					<i>БР 3.6.141.413 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Удосконалення магістральної електричної мережі 110/10 кВ з використанням програмного комплексу PowerWorld	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Швидкий К.Ю.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Дяговченко І.М.</i>					4	55
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТ-61</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нікіфоров М.А</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський І.Л.</i>			<i>Пояснювальна записка</i>			

3.1	Можливі шляхи удосконалення електричної мережі в програмному комплексі.....	31
3.2	Реалізація обраних способів удосконалення в програмному комплексі.	34
3.2.1	Пониження основного класу напруги до 110кВ	34
3.2.2	Заміна проводів марки АС на проводи марки АССР-ТWу мережі з основним класом напруги 220кВ.....	36
3.2.3	Підсилення електричної мережі шляхом додавання розподіленої генерації.....	39
3.2.4	Додаткова лінія між споживачами 5 та 6.....	41
3.3	Оцінка ефективності проведеного удосконалення.....	41
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
4.1	Забезпечення безпеки робіт в електроустановках	44
4.1.1	Технічні заходи, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках	45
4.2	Служба охорони праці на підприємстві.....	46
	ВИСНОВКИ.....	48
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	49
	ДОДАТКИ.....	51

ВСТУП

Електроенергетика - ключова галузь у господарстві будь-якої країни, адже саме електроенергетика об'єднує усі галузі виробництва та побуту. Отже технічні втрати, які є значною частиною загально-генерованої електроенергії, є джерелом дуже серйозних збитків для будь якого споживача електричної енергії, будь-то великий завод чи приватний будинок. В свою чергу, при розрахунках заходів, спрямованих на зменшення технічних втрат електроенергії, необхідно оцінювати доцільність прийнятих заходів з позиції досягнення позитивного економічного ефекту. Неякісне проектування також може привести до значних збитків та невиправданих витрат на матеріали та монтаж.

Тема зниження технічних втрат електроенергії та економії матеріалів є дуже важливою при веденні виробничої та господарської діяльності, адже зростання споживання електроенергії та будівництво нових генеруючих потужностей збільшують експлуатаційні навантаження на існуючі і часто не нові мережі. Зростання щільності населення, складнощі з виділенням земель, велика кількість обмежень, норм і правил створюють труднощі в збільшенні пропускної здатності існуючих мереж шляхом будівництва нових ліній. Найчастіше в таких умовах вартість будівництва нових ліній збільшується в рази.

З плином часу технології не перестають розвиватись, комп'ютерне моделювання та розрахунки давно витіснили класичне моделювання та розрахунки на папері. На даний момент різні додатки та програмні комплекси дозволяють не тільки змоделювати, а й визначити точні вихідні параметри схем, відтворити на екрані її роботу та пришвидшити проведення експериментів з конфігураціями та параметрами схем. Це помітно пришвидшує роботу при проектуванні та вдосконаленні електроенергетичних систем.

Ця кваліфікаційна робота бакалавра спрямована на вдосконалення та оптимізацію електричної мережі у програмні комплексі PowerWorld. Ключовими

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

цілями є засвоєння програмного комплексу PowerWorld та визначення шляхів удосконалення електричної мережі за допомогою передових технологій та методів. На першому етапі буде проведене відтворення вихідної мережі в програмному забезпеченні, а після дослідження та вибору шляхів її удосконалення буде виконане моделювання різних варіантів удосконалення та отримано кінцевий, найбільш оптимальний варіант конфігурації електричної мережі.

Програмні та технічні рішення, розглянуті у цій роботі, пришвидшать та значно здешевлять процес модернізації електричних мереж.

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Постановка задачі та вихідні дані

Основною задачею даного проекту є удосконалення магістральної мережі, яке буде виконано у програмному комплексі PowerWorld. Окрім того в процесі виконання роботи необхідно освоїти нове програмне забезпечення та здобути теоретичні та практичні навички використання даного комплексу.

Об'єктом вдосконалення буде магістральна мережа з основним класом напруги 220кВ, яку було спроектовано при виконанні курсового проекту за сьомий семестр з курсу «Електричні системи та мережі». Для її удосконалення буде проведено деякі експерименти із застосуванням сучасних технологій, зменшення втрат, зниження падінь напруги та підвищення надійності заданої мережі.

Вихідними даними слугуватимуть розраховані та табличні дані до заданої мережі, зокрема:

- карта споживачів з вказаними на ній групами, до яких відносяться споживачі (рис. 1.1);
- потужності споживачів (табл. 1);
- дійсні довжини проводів у лініях (табл. 1.1);
- обрані проводи та їхні параметри (табл. 1.2);
- розрахункові дані обраних проводів (табл. 1.3);
- обрані трансформатори та їх розрахункові дані можна побачити у (табл. 1.4) та (табл. 1.5), відповідно;
- номінальні напруги та розраховані падіння напруг (табл. 1.6).

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- - Споживач I категорії
- - Споживач II категорії
- ▲ - Споживач III категорії

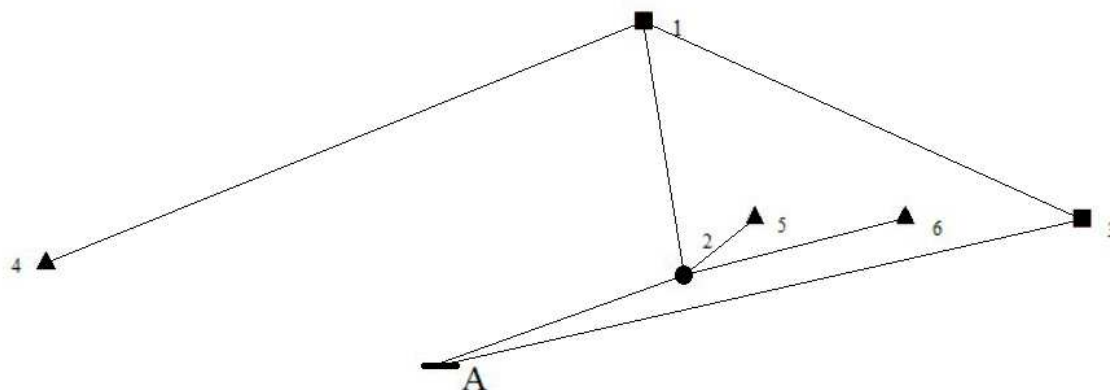


Рисунок 1.1 – Карта споживачів

Розрахунок повної потужності споживачів, за формулою 1.1 :

$$S = P + jP \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi), \quad (1.1)$$

де S – повна потужність споживача, МВА;

P – активна потужність споживача, МВт.

Таблиця 1 – Потужності споживачів

Параметр	1-й спож.	2-й спож.	3-й спож.	4-й спож.	5-й спож.	6-й спож.
S , МВА	34+	75+	57+	32+	0.658+	0.731+
	j15,491	j46.481	j27.606	j18.135	j0.216	j0.472

Таблиця 1.1 – Дійсні довжини проводів у лініях

Ділянка	A2	21	31	A3	14	26	25
L (км)	40,55	67,72	81,13	97,5	105,75	12	24,62

Розрахункову напругу в лініях було визначено за емпіричною формулою Ілларіонова (формула 1.2):

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}}, \quad (1.2)$$

де L – дійсна довжина лінії, км;

P – активна потужність яка передається лінією, МВт.

Переріз провідників було обрано за економічною густиною струму (формула 1.4) для цього було визначено стуми, у режимі максимальних навантажень, на ділянках мережі за формулою 1.3:

$$I_M = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (1.3)$$

де S – повна потужність що передається лінією, МВА;

де U_H – попередньо обрана номінальна напруга лінії, кВ.

$$F_e = \frac{I_M}{j_e}, \quad (1.4)$$

де I_M – струм на ділянках мережі, у режимі максимальних навантажень, А;

j_e – економічна густина струму.

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Обрані проводи та їхні параметри

Ділянка мережі	Розрахункова напруга U_p , кВ	Номинальна напруга $U_{ном}$, кВ	Струм наділянках I_m , А	Економічний переріз F_e , А/мм ²	Марка проводу (та кількість проводів)	Допустимий струм проводу I, А
A-2	123,44	220	379,444	344,949	АС-400/22	830
2-1	145,89	220	144,365	131,241	2×АС-240/32	605
3-1	127,59	220	50,255	45,659	АС-240/32	605
1-4	159,58	220	96,527	87,752	АС-240/32	605
A`-3	175,52	220	216,25	196,591	2×АС-300/39	710
2`-6	34,07	35	14,355	13,05	АС-35/6,2	175
2`-5	33,47	35	11,425	10,387	АС-35/6,2	175

Таблиця 1.3 – Розрахункові данні обраних проводів

Марка і переріз проводу	АС-400/22	АС-300/39	АС-240/32	АС-35/6,2
r_0 , Ом/км	0,075	0,098	0,121	0,77
x_0 , Ом/км	0,42	0,429	0,435	—
b_0 , См/км	$2,7 \times 10^{-6}$	$2,64 \times 10^{-6}$	$2,6 \times 10^{-6}$	—

Таблиця 1.4 – Обрані трансформатори

№ ПС	$S_{розр}$, МВА	Категорія споживача	Кількість тр-рів	$S_{ном}$, МВА	K_3	Марка трансформатора
1	28.688	II	2	40	0,667	ТРДН-40000/220
2	64,128	I	2	63	0,509	ТДЦТН-63000/220
3	45,2	II	2	40	0,565	ТРДН-40000/220
4	36,782	III	1	40	0,92	ТРДН-40000/220
5	0,693	III	1	1	0,693	ТМН-1000/35
6	0,87	III	1	1	0,87	ТМН-1000/35

Таблиця 1.5 – Розрахункові данні обраних трансформаторів

Тип трансформатора	S _н , МВА	Каталожні дані							Розрахункові дані		
		U _{ном} , кВ			R _т , Ом	R _т , Ом	ΔP _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом	X _т , (В/С/Н) Ом	Q _х , кВАр
		ВН	СН	НН							
ТМН-1000/10	1	35	14,9	14,9	12,2	6,5	2,1	0,8	14,9	79,6	14
ТРДН-40000/220	40	230	11,24	11,24	170	12	50	0,9	11,24	317,4	360
ТДЦТН-63000/220-74т1	63	230	2,133	2,133	320	BC-11 ВН-28,8 СН-12,6	74	0,5	2,133	114,19 127,63	315

Розрахунок падінь напруги було проведено за формулою 1.5:

$$U_{i+1} = \sqrt{\left(U_i - \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_i} \right)^2 + \left(\frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_i} \right)^2}, \quad (1.5)$$

де P – активна потужність на ділянці, МВА;

Q – реактивна потужність на ділянці, МВАр;

R та X – активний та реактивний опір, Ом;

U_{i+1} – напруга у вузлі, кВ;

U_i – напруга у попередньому вузлі, кВ.

Процентне відхилення напруги в кінці лінії, від номінального, визначається за формулою 1.6:

$$\Delta U = \frac{U_{i+1} - U_H}{U_H} \cdot 100\% \quad (1.6)$$

Таблиця 1.6 – Номінальні напруги та розраховані падіння напруг

Вузол	$U_{ном}$, кВ	U , кВ
А	220	230
1	220	227,809
2	220	223,788
3	220	228,182
4	220	220,909
5	35	34,317
6	35	34,487
1'	10	10,366
2'	35/6	34,687/5,947
3'	10	9,684
4'	10	9,642
5'	0,4	0,377
6'	0,4	0,382

1.2 Загальна характеристика заданого об'єкту

Маємо районну магістральну мережу з споживачами I, II та III категорій та номінальними напругами 220/35/10/6/0,4кВ. Споживачі I та II категорії об'єднані у замкнутому контурі мережі напругою 220кВ, що означає що вони мають двостороннє живлення, лінії мають проводи марки АС, також на підстанціях цих споживачів встановлено по 2 трансформатори. Споживачі III категорії мають одностороннє живлення та по одному трансформаторі на підстанцію.

1.3 Постановка задачі для моделювання

Моделювання буде полягати у побудові принципової схеми даної електричної мережі (див. рис. 1.2), пригідної для подальшого проведення

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

експериментів та виконання удосконалень, у програмному комплексі PowerWorld.

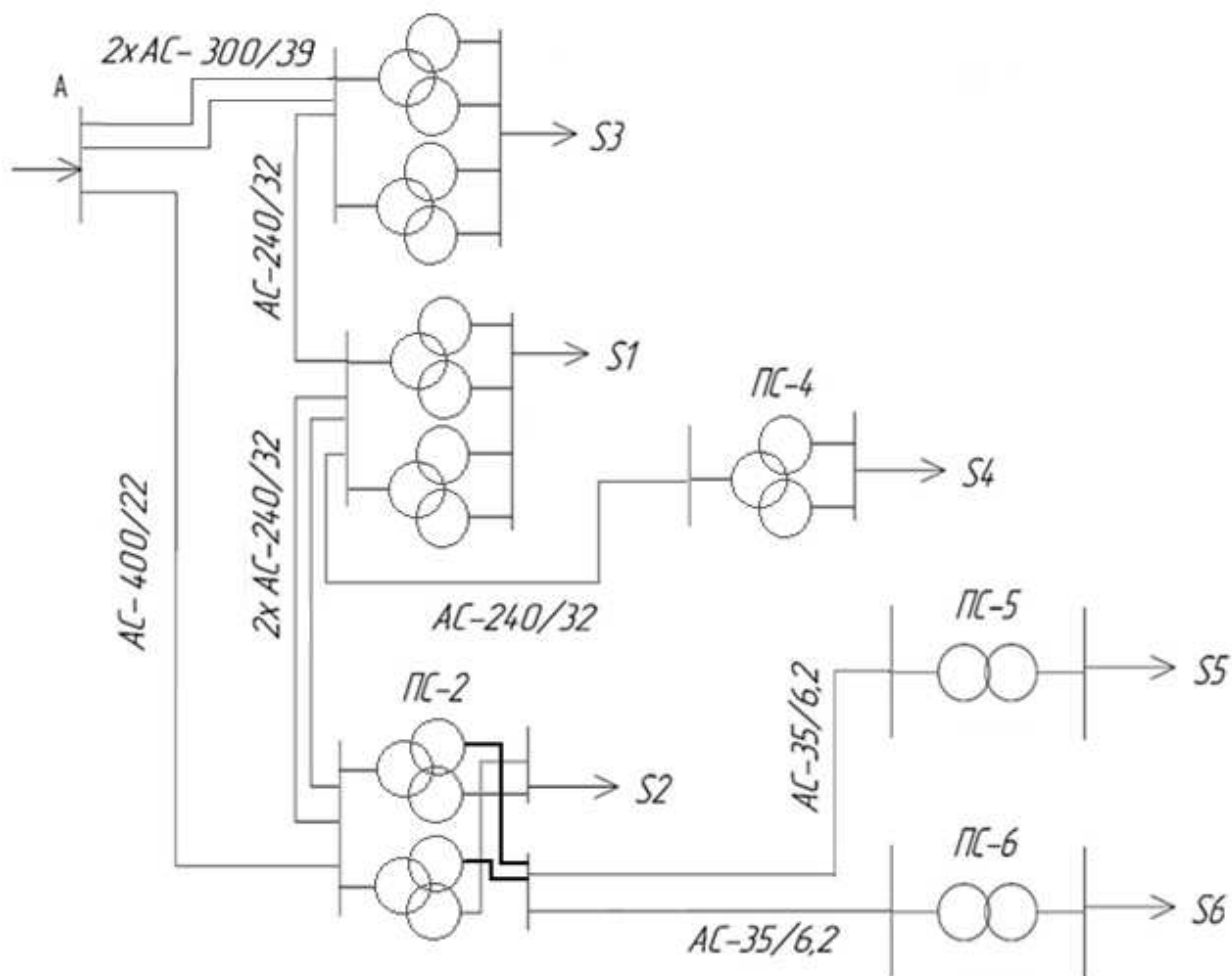


Рисунок 1.2 – Принципова схеми електричної мережі

1.4 Ознайомлення з програмним комплексом

PowerWorld Simulator - це візуально-симуляційний блок енергосистеми, розроблений для імітації роботи енергосистеми високої напруги у часовому проміжку від декількох хвилин до декількох днів. Програмне забезпечення містить високоефективний пакет аналізу потоку електроенергії, здатний ефективно вирішувати системи до 250000 шин.

Задумка PowerWorld Simulator з'явилася на початку 1990-х років, коли професор Томас Овербай з Університету Іллінойсу побачив необхідність в більш

						БР3.6.141.413 ПЗ	Арк.
							15
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата			

досконалому інструменті, який би допоміг студентам зрозуміти роботу великомасштабних енергосистем. PowerWorld Corporation була заснована в 1996 році професором Овербай, двома його колегами і докторантом в області досліджень енергетики і енергетичних систем університету[2].

PowerWorld Corporation підтримує партнерські відносини з іншими провідними постачальниками в енергетичній галузі для підвищення якості обслуговування клієнтів за рахунок інтегрованих рішень і розширених пропозицій продукції. Smart Wires. Inc. розробляє пристрої розподіленої гнучкої системи передачі змінного струму (D-FACTS). Вони допомогли в розробці основних характеристик моделювання пристроїв D-FACTS в PowerWorld Simulator. В даний час ми розробляємо можливість використовувати пристрої D-FACTS як елементи управління для оптимізації роботи мережі з PowerWorld Simulator OPF. Energy Visuals, Inc. пропонує інструменти для поліпшення платформ аналізу Power World Simulator і Simulator OPF і платформи візуалізації PowerWorld Retriever.

Комплектація програмного комплексу PowerWorld Simulator може відрізнитись за версією програми та максимальною кількістю шин. Максимальна кількість шин коливається від 13 до 250 000. Варіант програмного комплексу на 250 000 шин дає можливість моделювання електричних мереж частини або навіть всієї країни, як показано на рис. 1.3.

У PowerWorld Simulator можна розглянути, дослідити та перевірити роботу електроенергетичної системи у різних режимах та на протязі різних проміжків часу. Також програма дозволяє отримати різні статистичні та технічні данні пов'язані з роботою системи див. рис. 1.4

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

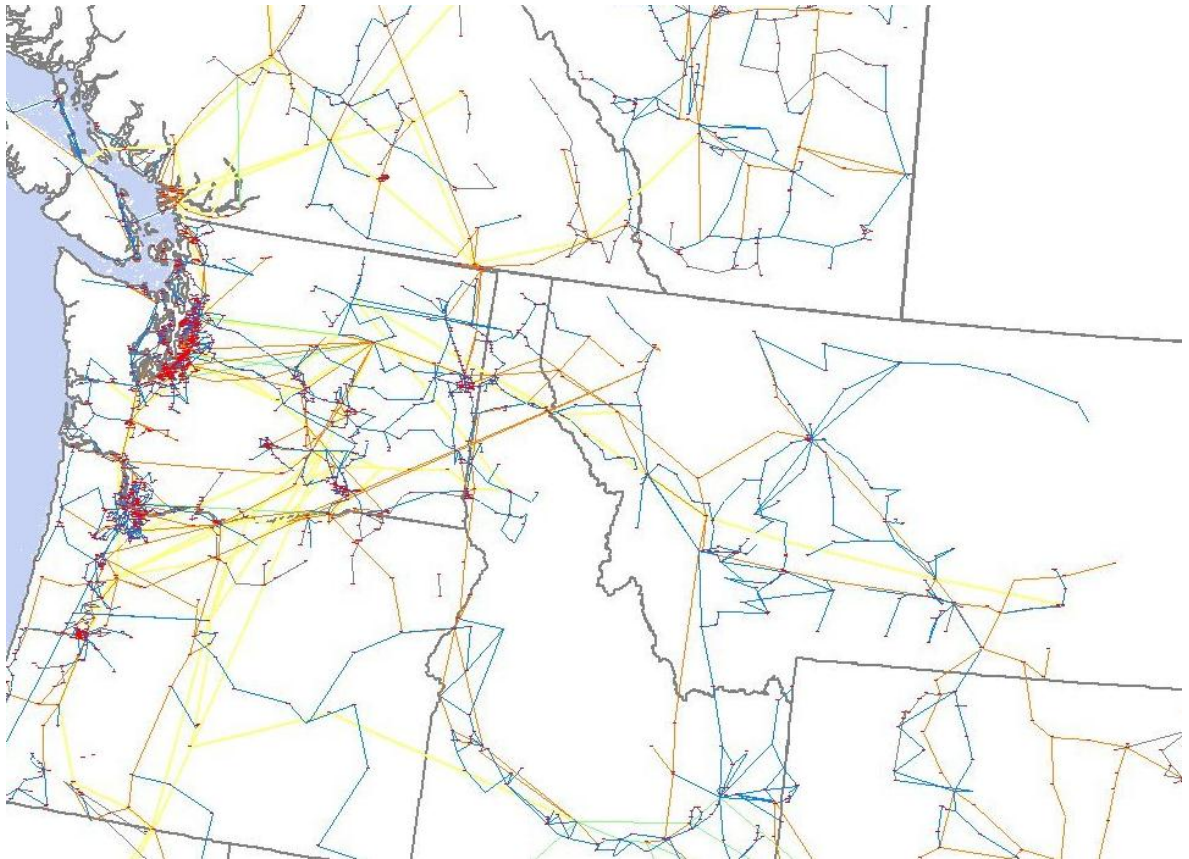


Рисунок 1.3 – Приклад моделювання електроенергетичної системи декількох штатів

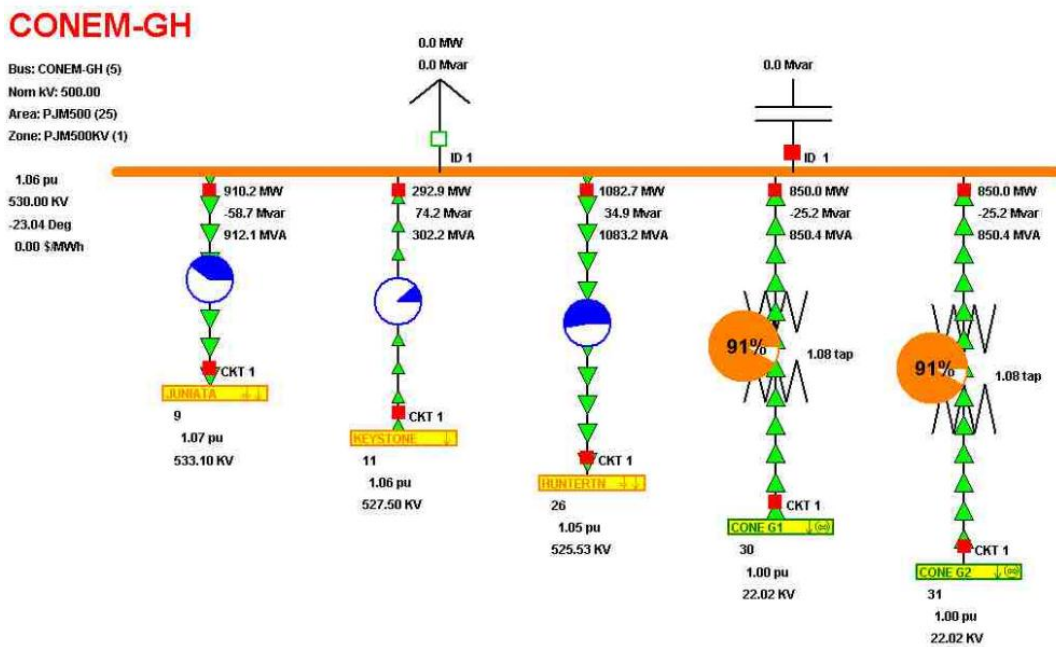


Рисунок 1.4 – Детальні данні змодельованої шини

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

1.4.1 Чисельні методи на яких базується робота PowerWorld Simulator

В основі програмного комплексу PowerWorld Simulator лежить метод числення Ньютона-Рафсона.

Метод Ньютона (також відомий як метод дотичних) - це ітеративний чисельний метод пошуку кореня (нуля) заданої функції. Цей метод вперше запропонував англійський фізик, математик та астроном Ісаак Ньютон, за ім'я якого він став відомим. Пошук рішення здійснюється шляхом побудови ряду наближень і ґрунтується на простих принципах ітерації. Метод має квадратичну конвергенцію. Удосконалення методу – це акордно-дотичний метод. Метод Ньютона також може бути використаний для вирішення задач оптимізації, і в цьому випадку нуль першої похідної або градієнта повинен бути визначений у випадку багатовимірних простору[15].

Описання методу. Щоб чисельно вирішити рівняння $f(x)=0$ методом простої ітерації, його необхідно звести до форми $x = \varphi(x)$ де φ – відображення метричного простору.

Для кращої збіжності методу в точці чергового наближення x^* має виконуватися умова $\varphi'(x^*)=0$ Рішення даного рівняння шукають у вигляді $\varphi(x) = x + \alpha(x)f(x)$, тоді:

$$\varphi'(x^*) = 1 + \alpha'(x^*)f(x^*) + \alpha(x^*)f'(x^*)$$

У припущенні, що точка наближення «досить близька» до кореня \bar{x} і що задана функція неперервна $\left(f(x^*) \approx f(\bar{x}) = 0 \right)$, кінцева формула для $\alpha(x)$ має вигляд:

$$\alpha(x) = -\frac{1}{f'(x)}$$

З урахуванням цього функція $\varphi(x)$ визначається виразом:

$$\varphi(x) = x - \frac{f(x)}{f'(x)}$$

					БРЗ.6.141.413 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

Ця функція в наближенні до кореня здійснює стискуjące відображення, і алгоритм знаходження чисельного рішення рівняння $f(x)=0$ зводиться до ітераційної процедури обчислення:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

По теоремі Банаха послідовність наближень прямує до кореня рівняння $f(x)=0$.

Ілюстрація методу Ньютона показана на рис. 1.5: синім зображена функція $f(x)$, нуль якої необхідно знайти, червоним – дотична в точці чергового наближення x_n . Можемо побачити, що подальше наближення x_{n+1} краще за x_n .

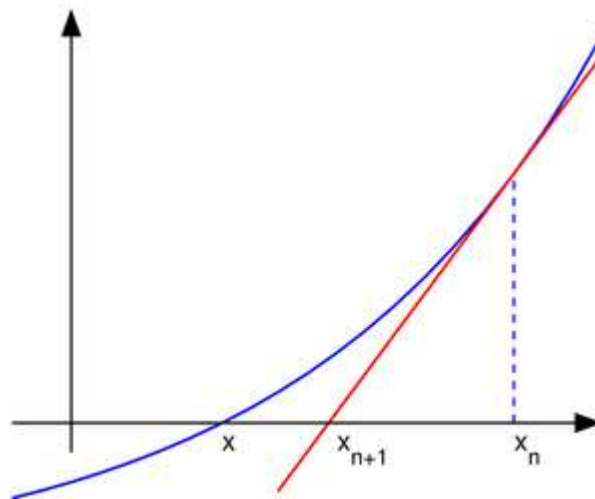


Рисунок 1.5 – Ілюстрація методу Ньютона

На черговій ітерації вибирається оптимальний крок:

$$x^{j+1} = x^j - \lambda_j H^{-1}(x^j) \nabla f(x^j)$$

де $\lambda_j = \arg \min_{\lambda} f(x^j - \lambda H^{-1}(x^j) \nabla f(x^j))$

Для оптимізації обчислень застосовують наступне поліпшення: замість того, щоб на кожній ітерації заново обчислювати визначник цільової функції,

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

обмежуються початковим наближенням $H(f(x^{-\rightarrow|0}))$ і оновлюють його лише раз в m кроків, або не оновлюють зовсім[14].

Програмний комплекс робить дуже простим перегляд та аналіз роботи заданої електричної мережі. Можна імітувати різні режими роботи та спостерігати як, при тих чи інших режимах, змінюються параметри мережі.

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РЕАЛІЗАЦІЯ ВИХІДНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ POWERWORLD

2.1 Параметри програмного комплексу PowerWorld і їх налаштування

Задамо візуальні параметри для відтворення схем. Відкриваємо діалогове вікно налаштувань монітора лінії або трансформатора (*Line/transformer flow pie chart*), шляхом натискання на нього 2 рази лівою кнопкою миші, див. рис. 2.1

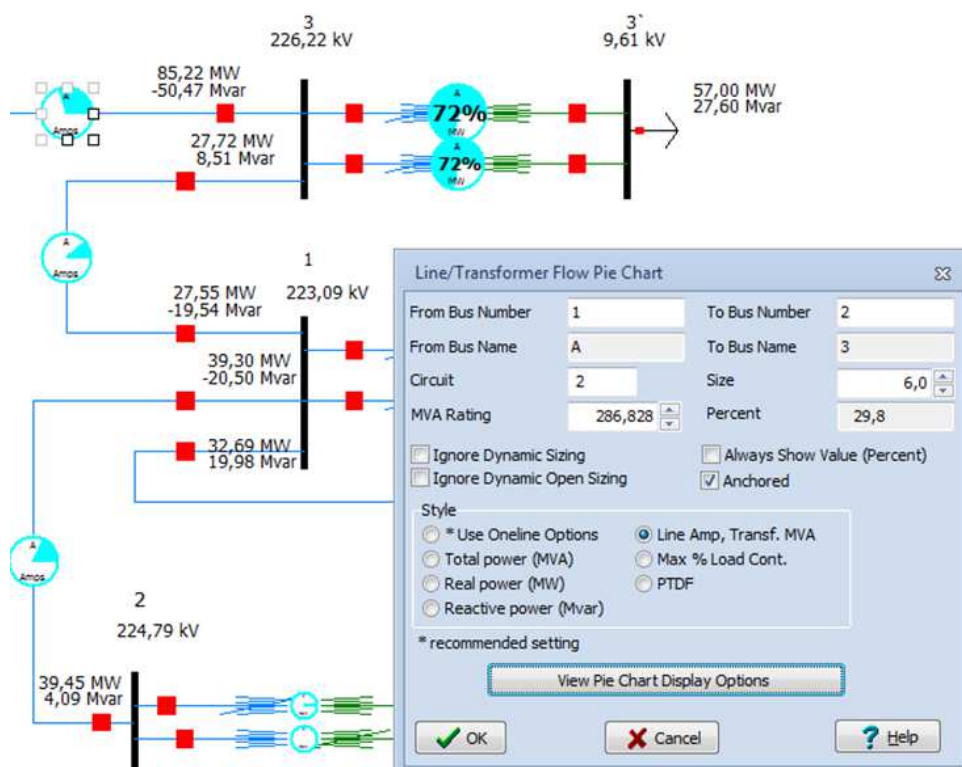


Рисунок 2.1 – Діалогове вікно, налаштувань монітора лінії

Відкриваємо перегляд опцій дисплея (*View pie chart options*), переходимо до вкладки опцій відтворення (*Animated flows*) обираємо перетоки якої потужності будуть відображатись, у графі (*Base flow scaling on*) та обираємо перетоки активної та реактивної потужності, обираємо від чого будуть залежати розміри стрілок перетоків потужності (*Scaling based on*) від обраних постійних розмірів (*Actual flow*), для більшої наглядності, обираємо кольори відображуваних

									Арк.
									21
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата					

елементів (*Symbol fill color*), та швидкість руху стрілок перетоків потужностей (*Animation rate*). Вкладка опцій відтворення показана на рис. 2.2

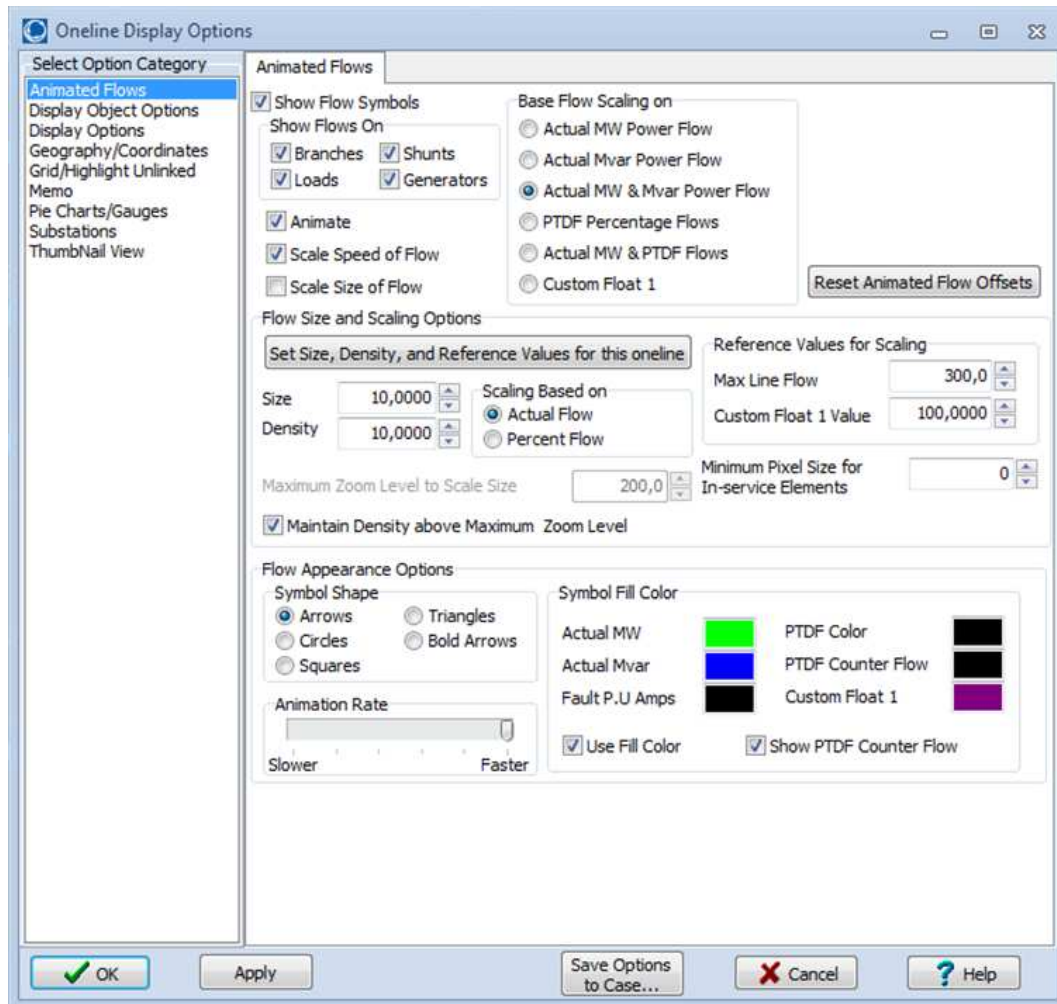


Рисунок 2.2 – Вкладка опцій відтворення (Animated flows)

Переходимо до вкладки опцій дисплея (*Pie chart/gauges*) (див. рис. 2.3) параметри для ліній та трансформаторів (*Lines*) обираємо відображувані величини (*Pie chart style*), амperi для ліній та мегавольт амperi для трансформаторів (*Amp, transf. MVA*), у вкладці *MVA*, що знаходиться нижче, виставляємо відсотки (*percent*), кратність збільшення екрана при перевищенні заданих відсотків завантаженості (*Scalar*) та колір при перевищенні заданих відсотків завантаженості (*color*).

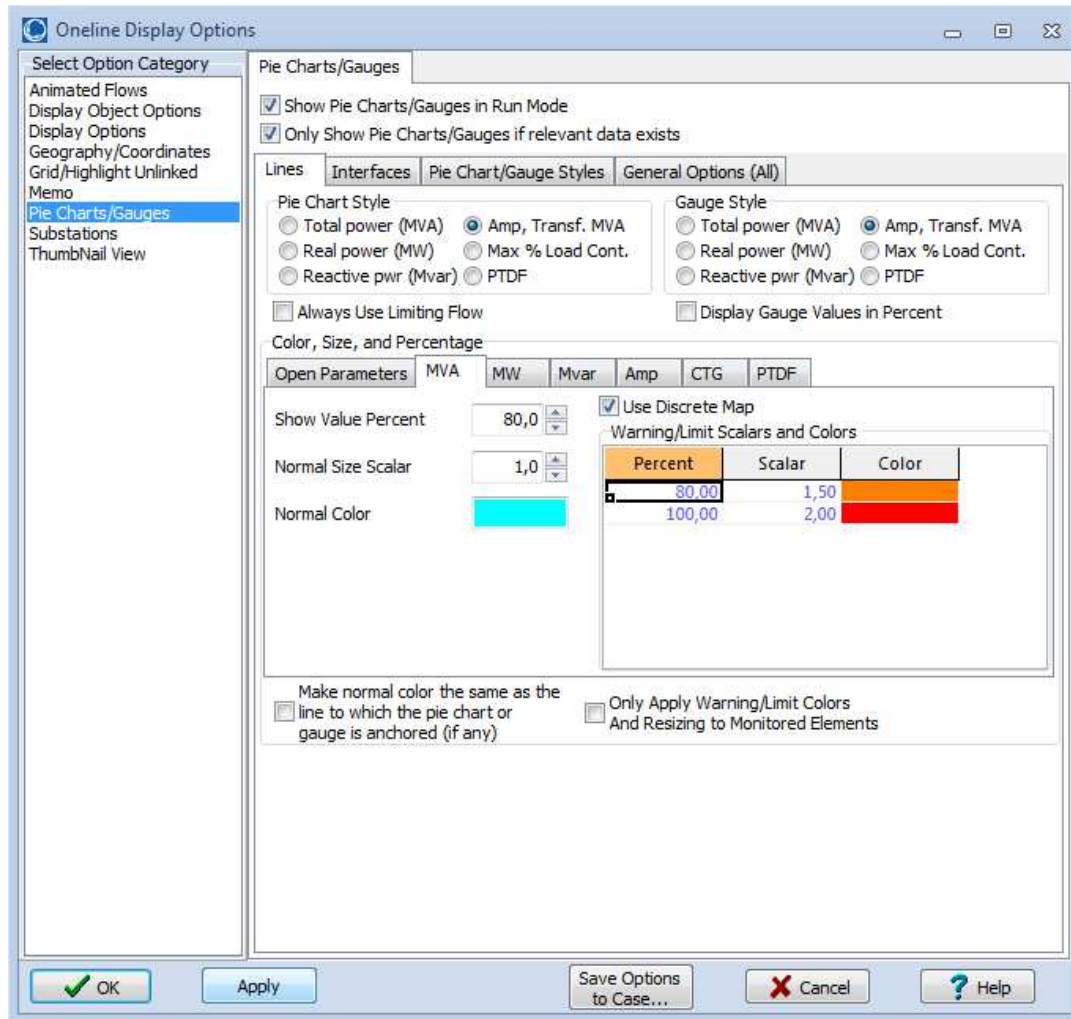
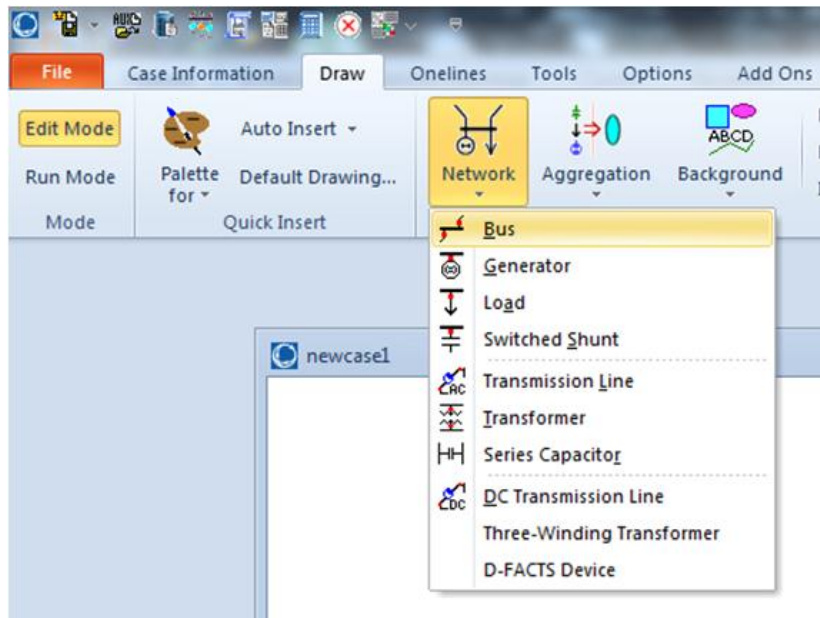


Рисунок 2.3 – Вкладка опцій дисплея (*Pie chart/gauges*)

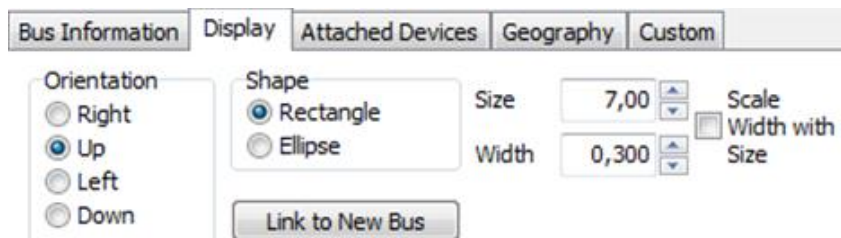
2.2 Складання схеми електричної мережі

Першим кроком виконаємо побудову принципової схеми електричної мережі. Запускаємо програмний комплекс PowerWorld, створюємо новий лист *File/Newcase*, обираємо режим моделювання *Edit mode*, переходимо до вкладки *Draw/Network* та обираємо необхідний елемент схеми заміщення *bus*(шина), *generator* (генератор), *load*(навантаження), *transmission line* (ЛЕП) або *transformer* (трансформатор) (див. рис. 2.4а) та задаємо візуальні параметри (*Display options*) у діалоговому вікні елемента, такі як положення (*Orientation*), розмір (*Size*) та товщина ліній (*Width*) (див. рис.2.4б).

Маємо схему заміщення, яку показано у додатку 1.



а



б

Рисунок 2.4 побудова схеми заміщення: а – елементи схеми заміщення; б – завдання візуальних параметрів.

2.2 Завдання параметрів схеми заміщення

При створенні елемента схеми заміщення відкривається діалогове вікно в якому ми і будемо задавати параметри.

2.2.1 Завдання параметрів шин

Для шин задаємо номінальну напругу (*Nominal voltage*), позначку шини (*Bus name*) та для живлячої, шини генератора, ставимо галочку у графі *System Slack Bus*, див. рис. 2.5.

					БР3.6.141.413 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.5 – завдання параметрів шин

2.2.2 Завдання параметрів ліній

Відкриваємо діалогове вікно лінії (*Branch options*) (див. рис. 2.6) переходимо до вкладки параметрів (*Parameters*) обираємо розрахунок параметрів за довжиною лінії (*Calculate Impedances/From per distance impedances*), ставимо у виборі одиниць виміру довжини (*Length units*) кілометри, задаємо довжину лінії (*Line length*), табличні данні для марки проводу (R, X, B) та допустимий струм (*Limit Amps*).

Branch Options

Line From Bus To Bus Circuit
 Number 4 8 1
 Name 1 2
 Area Name 1 (1) 1 (1)
 Nominal kv 220,0 220,0

Find By Numbers
 Find By Names
 Find ...
 From End Metered
 Default Owner (Same as From Bus)

Labels ... no labels

Display Parameters Fault Info Owner, Area, Zone, Sub Custom Stability

Status
 Open
 Closed

Branch Device Type
 Line
 Allow Consolidation
 Length 42,07

Calculate Impedances >
 From Per Distance Impedances
 From Conductor Type and Tower Configuration

D-FACTS Devices on the Line Has D-FACTS

Per Unit Impedance Parameters
 Series Resistance (R) 0,007631
 Series Reactance (X) 0,027453
 Shunt Charging (B) 0,186309
 Shunt Conductance (G) 0,000022
 Has Line Shunts Line Shunts

MVA Limits
 Limit A 241,015
 Limit B 0,000
 Limit C 0,000
 Limit D 0,000
 Limit E 0,000
 Limit F 0,000
 Limit G 0,000
 Limit H 0,000
 Limit I 0,000

OK Save Cancel Help

Line Per Unit Impedance Calculator

Actual Impedance and Current Limits
 R (Ohms/km) 0,044833
 X (Ohms/km) 0,196710
 B (Mhos/km) 5,770901 x10⁻⁶
 G (Mhos/km) 0,000001 x10⁻⁶
 Limit A (Amps) 752,728
 Limit B (Amps) 0,000
 Limit C (Amps) 0,000
 Limit D (Amps) 0,000
 Limit E (Amps) 0,000
 Limit F (Amps) 0,000
 Limit G (Amps) 0,000
 Limit H (Amps) 0,000
 Limit I (Amps) 0,000
 Conductor Type None Specified
 Tower Configuration None Specified
 Calculate PU Impedances From Conductor Type and Tower Configuration

Line Length 97,500 km
 When changing convert:
 PU/MVA --->
 <--- Electrical

Length Units
 miles
 kilometers

System Base Values
 Power Base (MVA) 100,0000
 Voltage Base (kv) 220,000
 Impedance Base (Ohms) 484,000
 Admittance Base (Mhos) 0,00206612

Per Unit Impedance and MVA Limits
 R (pu) 0,008999
 X (pu) 0,039559
 B (pu) 0,272574
 G (pu) 0,000056
 Limit A (MVA) 286,828
 Limit B (MVA) 0,000
 Limit C (MVA) 0,000
 Limit D (MVA) 0,000
 Limit E (MVA) 0,000
 Limit F (MVA) 0,000
 Limit G (MVA) 0,000
 Limit H (MVA) 0,000
 Limit I (MVA) 0,000
 Limit J (MVA) 0,000
 Limit K (MVA) 0,000
 Limit L (MVA) 0,000
 Limit M (MVA) 0,000
 Limit N (MVA) 0,000
 Limit O (MVA) 0,000

OK Help Cancel

Рисунок 2.6 – Завдання параметрів ліній

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

2.2.3 Завдання параметрів трансформаторів

Відкриваємо діалогове вікно трансформатора (*Branch options*) (див. рис. 2.7) переходимо до вкладки параметрів (*Parameters*) обираємо розрахунок параметрів за довжиною лінії (*Calculate Impedances/From per distance impedances*), ставимо у виборі одиниць виміру довжини (*Length units*) кілометри, задаємо довжину лінії 1 км (*Line length*) та задаємо розраховані опори (R, X) та номінальну потужність трансформатора як *Limit MVA*.

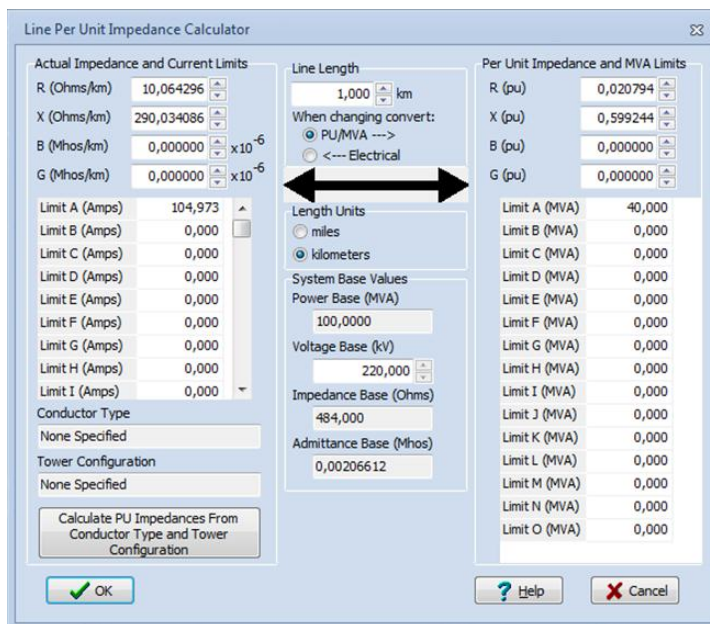
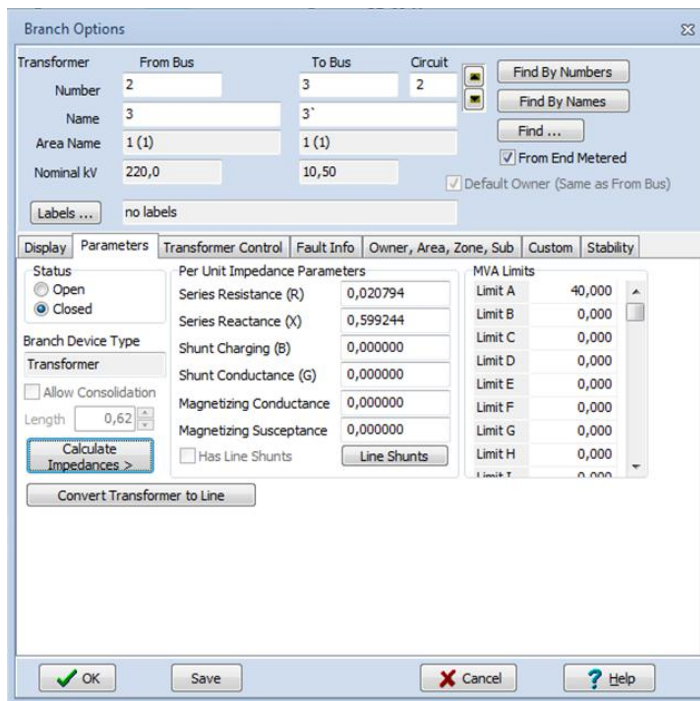


Рисунок 2.7 – Завдання параметрів трансформаторів

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

2.2.4 Завдання параметрів навантажень

Відкриваємо діалогове вікно навантаження (*Load options*) та задаємо сталі потужності навантаження (*Constant power*) активної (*MW value*) та реактивної енергії (*Mvar value*).

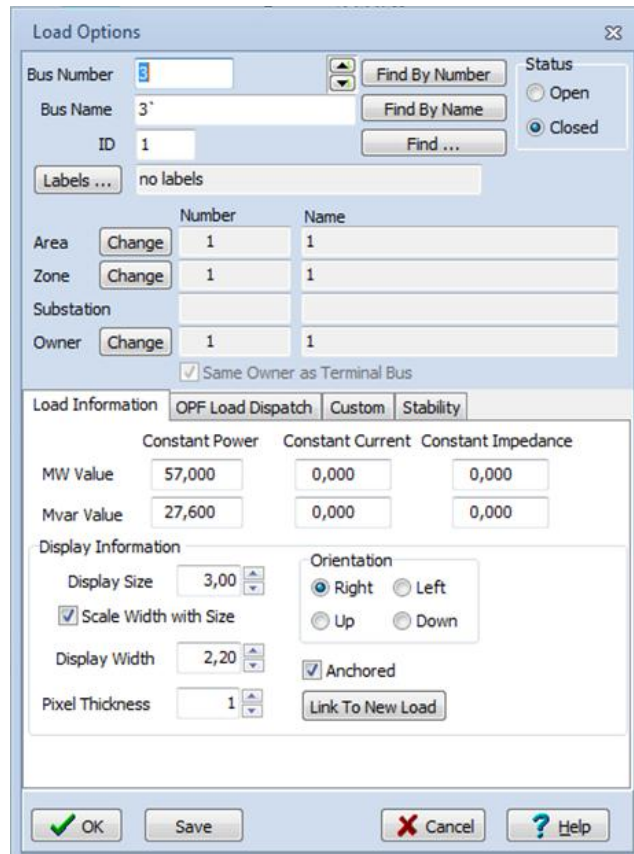


Рисунок 2.8 – Завдання параметрів навантажень

2.3 Виведення необхідних величин на схему

Після того як ми задали всі параметри схеми заміщення, для зручності та наглядності, необхідно вивести на схему такі параметри : - потужність на початку та вкінці ліній;

- дійсні напруги на всіх шинах;
- загальні втрати мережі;

Відкриваємо вкладку *Draw/Individual insert/Field* та обираємо необхідний пункт *Area, Bus* або *Transmission line*. Та задаємо необхідні параметри.

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						28
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

2.4 Отримання результатів рішення

Перемикаємо на режим відтворення (*Run mode*), переходимо до вкладки *Tolls* та натискаємо *Play*, як результат маємо схему (додаток 2), яка працює та відображає завантаженість ліній та трансформаторів, загальні втрати мережі, реальні напруги, перетоки активної та реактивної енергії – зелені та сині стрілки відповідно.

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						29
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМОДЕЛЬОВАНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУНКЦІОНАЛУ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ POWERWORLD

Удосконалення буде полягати у проведенні дослідницької діяльності та розгляді різних варіантів вдосконалення електричної мережі на базі вже існуючої. Основна частина діючих електромереж України була збудована ще в Радянському союзі, отже постає питання надійності таких мереж, адже строк служби більшості електротехнічного обладнання підстанцій та ліній (проводи, трансформатори, вимірювальна та комутаційна апаратура), згідно з технічними умовами заводів-виробників, становить не більш ніж 25 років.

Електропостачальними організаціями строк експлуатації вимушено подовжується. Не дивно що це призводить до значних витрат на проведення ремонтів та експлуатацію такого застарілого обладнання. Тому важливим є питання про планомірну заміну морально та технічно застарілого обладнання на нове та сучасне.

Надійність електроенергетичних об'єктів полягає у їх спроможності на протязі часу зберігати свої технічні параметри та характеристики, які забезпечують виконання об'єктами своїх технологічних функцій.

Однією з головних складових надійності електроенергетичної мережі, поряд із схемною та режимною, є експлуатаційна надійність її окремих елементів.

Рівень надійності об'єктів в основному характеризується спрацьованістю ресурсу працездатності обладнання. Експлуатаційний ресурс обладнання визначає його потенційну можливість підтримання своїх функцій з врахуванням експлуатаційного зносу.

Окрім зношеності матеріалів та застарілості технологій додаються ще й безперестанний ріст споживання електроенергії та будівництва нових генеруючих установок. Усі перераховані фактори впливають на збільшення експлуатаційних навантажень на існуючі і, зазвичай, не найновіші мережі. Постійно зростаюча щільність заселення, складнощі з виділенням земель для нових ліній, значна

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

кількість обмежень, стандартів, правил і норм утворюють труднощі при підвищенні пропускної здатності існуючих мереж шляхом будівництва додаткових ліній. За таких умов вартість будівництва нових ліній значно зростає.

Отже процес удосконалення мережі буде відбуватися на базі існуючої у програмному комплексі PowerWorld та буде націлений на зниження втрат, підвищення пропускної можливості та підвищення надійності.

3.1 Можливі шляхи удосконалення електричної мережі в програмному комплексі

З урахуванням усіх вищеперерахованих факторів підберемо задовольняючі нашим вимогам варіанти удосконалення мережі.

Першим варіантом буде заміна основного класу напруги з 220кВ на 110кВ. Даний варіант вдосконалення обрано через те, що більш поширеними для України є лінії напругою 110кВ. Метою даного вдосконалення є зниження витрат, так як усе обладнання електричної мережі 220кВ дорожче, ніж те, що використовують у мережах 110кВ. З заміною проводів на АС-240/32 та трансформаторів на ТД-40000/110 та для ПС-2 – на ТДТН 63000/110. Також під час проведення експериментів буде обрано оптимальну кількість проводів на фазу.

Підвищення пропускної здатності ліній шляхом заміни проводів марки АС на проводи АССР-ТW (Алюмінієвий композитний посилений провід, ТW-трапецієвидна форма дротів зовнішнього повиву), вигляд проводу АССР-ТW у перерізі можна побачити на рис. 3.1.

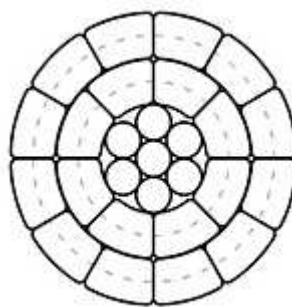


Рисунок 3.1 – Вигляд проводу АССР-ТW у перерізі

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

ACCR – неізолюваний композитний посилений провід, розроблений для заміни існуючих проводів різних типів з одночасним збільшенням пропускної здатності лінії у 2-3 рази, без заміни опор.

ACCR є неізолюваним проводом, який складається з сердечника і зовнішніх струмоведучих жил. композитний сердечник утворюють кілька дротів діаметром від 1,9 до 2,9 мм. Кожен дріт є алюміній високої чистоти, в який вживлено більш ніж 25 000 мікрометрових безперервних поздовжніх волокон оксиду алюмінію. Ці волокна додають матеріалу надвисоку міцність. Зовні композитне осердя виглядає також, як звичайний сталевий, але його механічні та фізичні властивості значно перевершують сталеві і алюмінієві аналоги [3].

Переваги композитного осердя: - міцність композитного сердечника можна порівняти зі сталевим та в 8 разів вище алюмінієвого;

- маса композитного сердечника в 2 рази менше сталевого і всього на 20% більша за масу чистого алюмінію;

- електропровідність композитного сердечника в 4 рази вище сталевого;

- коефіцієнт теплового розширення в 4 рази менше алюмінієвого і в 2 рази менше сталевого;

- жорсткість в 3 рази вище алюмінієвого сердечника.

Зовнішні струмопровідні жили проводу ACCR складаються з температуро - стійкого сплаву алюміній-цирконій (Al-Zr). Сплав Al-Zr має міцність аналогічну стандартному алюмінію 1350-H19, але його мікроструктура сформована так, щоб він зберігав цю міцність при високих температурах. Якщо звичайний алюміній при температурі 120-150 °C перегрівається і різко втрачає міцність, то сплав Al-Zr зберігає свої властивості до 210 °C, з піковими навантаженнями до 240 °C. Провід ACCR поставляється з перетином від 120 до 1600 мм² і з різним співвідношенням перетинів сердечника до алюмінію[3].

ACCR скорочує термін виконання робіт за проектом і бюджетні ризики. Виключає необхідність в дорогих нових опорах, землевідведення та інші затратні фактори, реконструкція за допомогою ACCR забезпечує значне скорочення витрат, навіть при більш високій ціні проводу за кілометр. В багатьох випадках

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

АССР є найбільш високоефективним і економічним рішенням. Алюмінієвий композитний провід пройшов масштабні лабораторні та лінійні випробування.

Переваги проводу АССР:

- підвищення пропускної здатності лінії;
- підвищення допустимого струму у 2 рази у порівнянні з аналогом марки АС;
- за рахунок гладкої поверхні проводу зменшується ризик розгойдування та танцю проводів;
- гладка форма проводу знижує кількість налипаючого снігу та ожеледі;
- менша стріла провисання при більших температурах проводів.

Додавання додаткової генерації, для переходу від мережі з єдиним джерелом генерації до мережі з розподіленою генерацією, на підстанціях 3 та 2. У масштабах обраної мережі доцільно використовувати генераційні підстанції малої енергетики потужністю до 25МВт.

Додавання генерації у безпосередній близькості зі споживачем допоможе:

- знизити навантаження на енергосистему;
- стабілізувати мережу при роботі у пікові години;
- підвищити надійність мережі під час аварійних режимів;
- знизити загальні технічні втрати в мережі.

Розподілена генерація також дасть значний запас для мережі, з розрахунком на постійне зростання споживання.

Підвищення надійності мережі 35кВ, яка поєднує споживачів 5 та 6, шляхом додавання лінії між споживачами, що означає що вони утворять магістральну мережу. Даний захід допоможе підвищити надійність на випадок, якщо у вузлі підключення споживача 5 або 6 додаються споживачі I або II категорії.

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						33
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

3.2 Реалізація обраних способів удосконалення в програмному комплексі

3.2.1 Пониження основного класу напруги до 110кВ

Виконаємо дану задачу в наступній послідовності:

1) Відключаємо усі лінії з напругою 220кВ, для уникнення збоїв у програмі при подальшому відтворенні побудованої мережі. Відключення ліній проводимо на прикладі відключення лінії А-3 (див. рис. 3.2), переходимо до режиму відтворення (*Run mode*) та вимикаємо автоматичний вимикач (*Circuit breaker*), який на схемі позначено червоним квадратом.

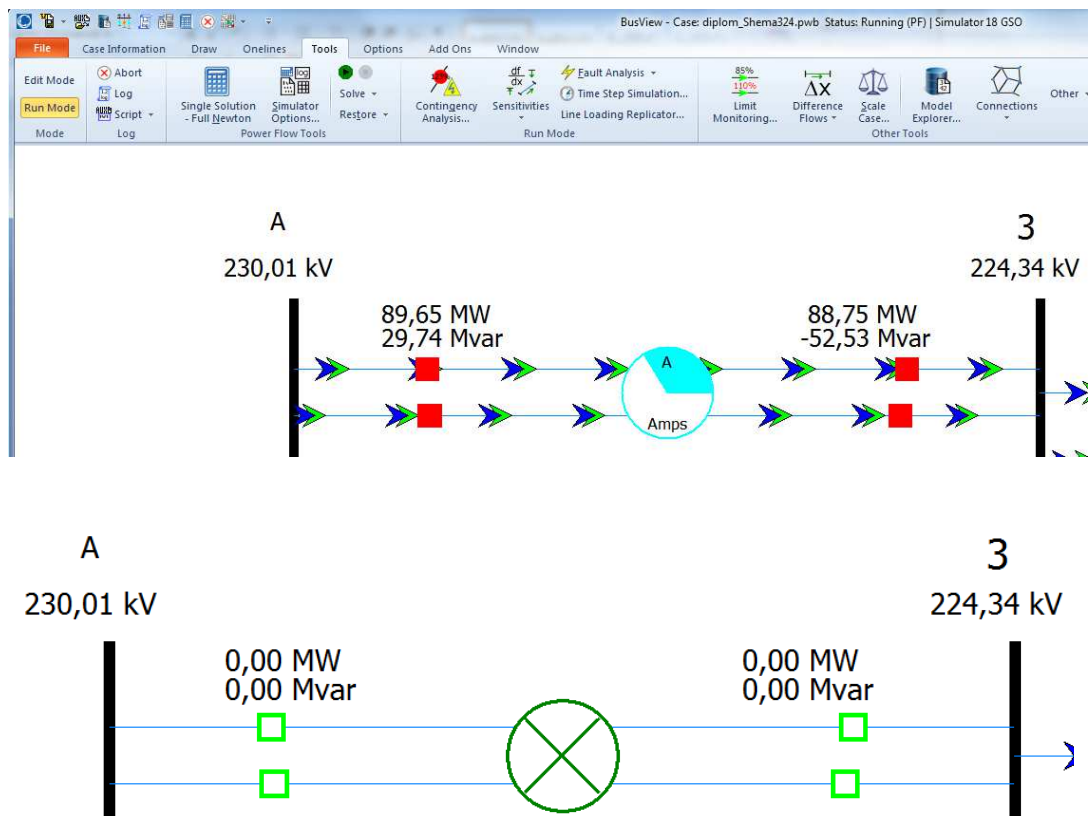


Рисунок 3.2 – Відключення лінії А-3

2) Переходимо до режиму моделювання (*Edit mode*), та замінюємо номінальну напругу шин, замінюємо параметри ліній на параметри ліній з проводами марки АС-240/32, який є максимально допустимим для 110кВ, та

замінюємо параметри трансформаторів. Попередньо виставляємо по одному проводу у фазі.

3) Переходимо до режиму відтворення (*Run mode*), підключаємо усі лінії, вмикаючи автоматичні вимикачі. Відкриваємо вкладку інструменти (*Tools*) та відтворюємо схему натисканням на кнопку відтворення (*Play*). Схема з дійсними величинами показана у додатку 3.

4) При відтворенні схеми ми бачимо що у нормальному режимі роботи допустимі струми у лініях А-2 та А-3 перевищують допустиме значення на 198% та 112% відповідно, що є неприпустимим. Втрати активної та реактивної енергії зросли в 12 та 5 разів відповідно, та падіння напруги на шині високої напруги підстанції 4-го споживача складає більш ніж 50%.

5) Міняємо провід АС-240/32 на провід Hawk ACCR –TW477-16Т, який має такий же переріз як і АС240/32, але має допустимий струм 1232А. Повторюємо дії з пункту 3.2.1. 1). Замінюємо параметри проводів. Та робимо усі лінії з двома проводами на фазу. Розрахункові дані проводу Hawk ACCR –TW 477-16Т вказано у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові дані проводу Hawk ACCR –TW 477-16Т

Марка і переріз проводу	Hawk ACCR –TW 477-16Т
r_0 , Ом/км	0,116
x_0 , Ом/км	0,302
b_0 , См/км	4×10^{-6}

Переходимо до режиму відтворення (*Run mode*), підключаємо усі лінії, вмикаючи автоматичні вимикачі. Переходимо на вкладку інструменти (*Tools*) та відтворюємо схему натисканням на кнопку відтворення (*Play*). Схема з дійсними величинами зображена у додатку 4.

У результаті отримуємо: - падіння напруги на шині високої напруги підстанції 4-го споживача складає більш ніж 10%;

- при обриві найбільш завантаженої лінії А-2 отримуємо перенавантаження на лінії А-3 у 130%, а падіння напруги, на стороні високої напруги підстанції споживача 2, складає більш ніж 70%, див. рис. 3.3.

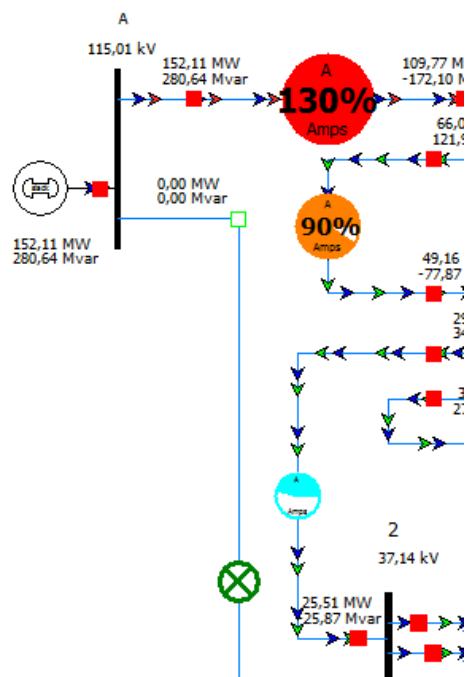


Рисунок 3.3 – Перенавантаження на лінії А-3 у 130% та падіння напруги на стороні високої напруги підстанції споживача 2

Від пониження основного класу напруги відмовляємося, та повертаємося до основного класу напруги 220кВ.

3.2.2 Заміна проводів марки АС на проводи марки АССР-TWу мережі з основним класом напруги 220кВ.

1) Відключаємо усі лінії, для уникнення збоїв у програмі при подальшому відтворенні побудованої мережі, переходимо до режиму відтворення (*Run mode*) та вимикаємо автоматичний вимикач (*Circuit breaker*) .

2) Переходимо до режиму моделювання (*Edit mode*), та виконуємо зворотну заміну на номінальну напругу шин 220кВ, замінюємо параметри ліній, та замінюємо параметри трансформаторів. Отримуємо ту ж саму схему що була зібрана та зображена у додатку 2. Перевіряємо чи вірно було зібрано схему

переходимо до режиму відтворення (*Run mode*), підключаємо усі лінії, вмикаючи автоматичні вимикачі. Відкриваємо вкладку інструменти (*Tools*) та відтворюємо схему натисканням на кнопку відтворення (*Play*).

3) Відключаємо усі лінії, для уникнення збоїв у програмі при подальшому відтворенні побудованої мережі, переходимо до режиму відтворення (*Run mode*) та вмикаємо автоматичні вимикачі (*Circuit breaker*). Переходимо до режиму моделювання (*Edit mode*), та замінюємо проводи марки АС на проводи ACCR-TW, обираємо найменший допустимий переріз проводу для напруги 220кВ, тобто еквівалентний перерізу АС-240/32, це буде провід Hawk ACCR –TW 477-16Т. Попередньо виставляємо по одному проводу у фазі. Розрахункові дані проводу Hawk ACCR – TW 477-16Т вказано у табл. 3.1. Переходимо до режиму відтворення (*Run mode*), підключаємо усі лінії, вмикаючи автоматичні вимикачі. Переходимо на вкладку інструменти (*Tools*) та відтворюємо схему натисканням на кнопку відтворення(*Play*). Схема з дійсними величинами зображена у додатку 5.

4) На відтвореній схемі, яку зображено у додатку 5, бачимо що падіння напруги на стороні високої напруги найвіддаленішого споживача 4 не перевищують допустимих норм (5%), але втрати в мережі все ж не значно знизилась у порівнянні з вихідною схемою.

5) Перевіримо працездатність схеми при обриві найбільш завантаженої лінії А-2, не виходячи з режиму відтворення (*Run mode*), вмикаємо автоматичний вимикач (*Circuit breaker*) лінії А-2 так як вказано на рис. 3.4, на рис. 3.5 бачимо що у аварійному режимі струм у лінії А-3 не перевищує допустимих значень, а саме 865А при максимально допустимому 1232А, але маємо дуже велике падіння напруги на стороні високої напруги підстанції 2, а саме 32%.

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

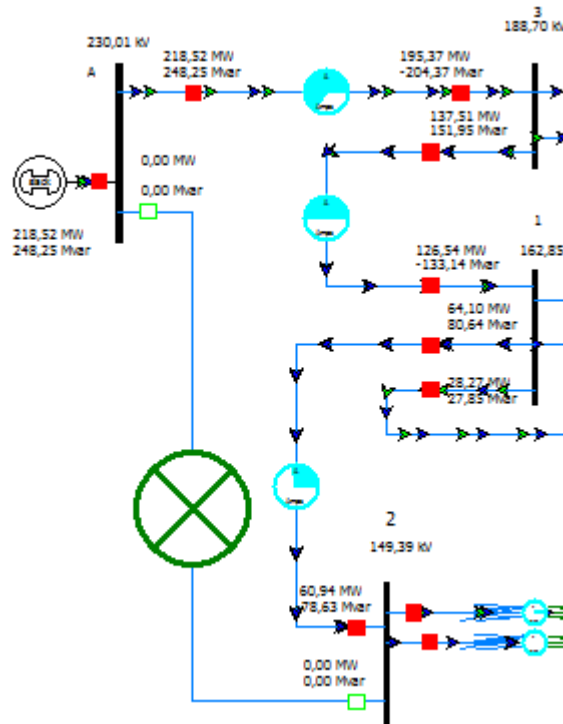


Рисунок 3.4 – Симуляція аварійного режиму (обрив лінії А-2)

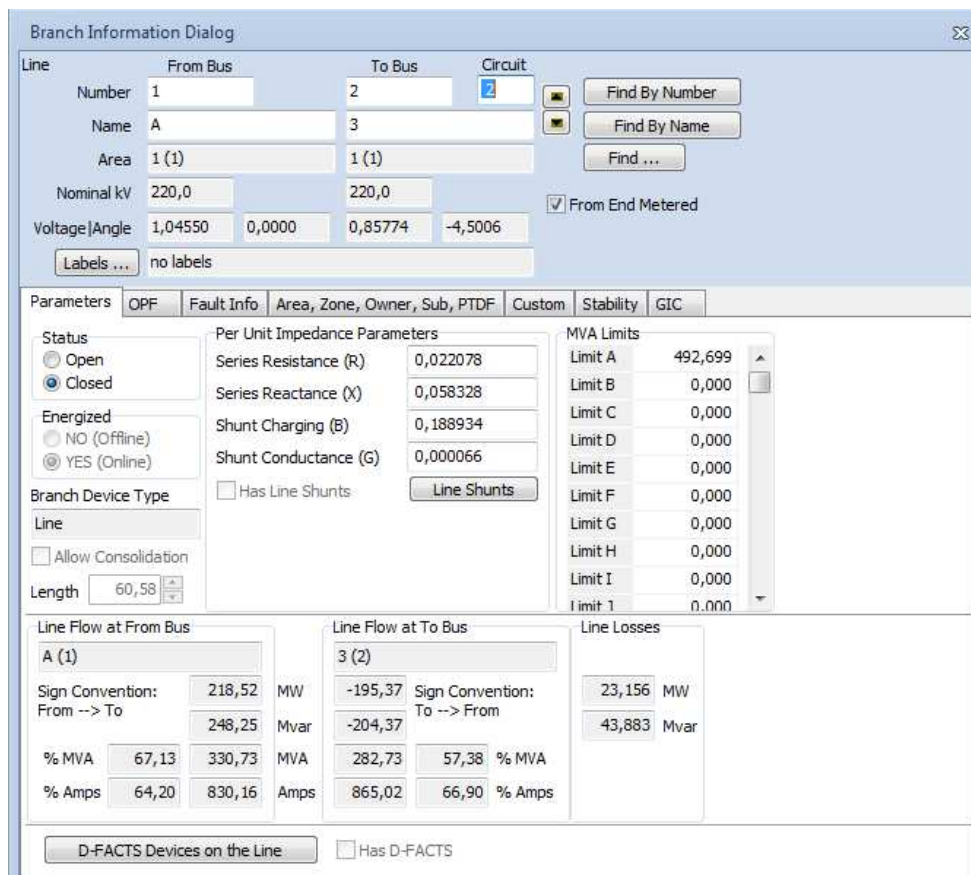


Рисунок 3.5 – Діалогове вікно лінії А-3 у аварійному режимі

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Відключаємо усі лінії, переходимо до режиму моделювання (*Edit mode*) відкриваємо вкладку проектування (*Draw*), додаємо ще один провід на фазу для найбільш завантажених ліній А-2 та А-3, які знаходяться на стороні високої напруги (220кВ), окрім найменш завантаженої лінії 1-4. Переходимо до режиму відтворення (*Run mode*), підключаємо усі лінії, вмикаючи автоматичні вимикачі. Переходимо на вкладку інструменти (*Tools*) та відтворюємо схему натисканням на кнопку відтворення (*Play*). Відтворену схему можна побачити у додатку 6. Мережа працює добре в нормальному режимі, падіння напруг майже немає, втрати зменшились у порівнянні з вихідною схемою.

б) Перевіримо працездатність схеми при обриві найбільш завантаженої лінії А-2, не виходячи з режиму відтворення (*Run mode*), вмикаємо автоматичний вимикач (*Circuitbreaker*), у додатку 7 бачимо що у аварійному режимі струм у лінії А-3 не перевищує допустимих значень, а саме 650А, що у 2 рази менше допустимого, падіння напруг не перевищують 10%.

3.2.3 Підсилення електричної мережі шляхом додавання розподіленої генерації

Генератори встановимо на стороні низької напруги підстанцій ПС-2 та ПС-3, щоб генерована електроенергія не проходила через силові трансформатори та не втрачалася на технічні втрати.

1) Переходимо до режиму моделювання (*Edit mode*) відкриваємо вкладку проектування (*Draw*), та додаємо генератори в мережу при аварійному режимі з додатку 7, шляхом підбору потужності досягаємо падіння напруг які задовольняють 5%, з метою досягнення стабільності при аварійному режимі. Для коректності роботи системи при даному удосконаленні зробимо генератори з фіксованою віддачею, переходимо до режиму моделювання (*Edit mode*) відкриваємо вкладку проектування (*Draw*), відкриваємо діалогове вікно генератора (*Generator options*) та у вкладці завдання параметрів (*Power and voltage econtrol*) знімаємо галочки з автоматичного контролю генерації активної (AGR) та

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

реактивної (AVR) енергії, так як показано на рис. 3.6. Результат зображено у додатку 8.

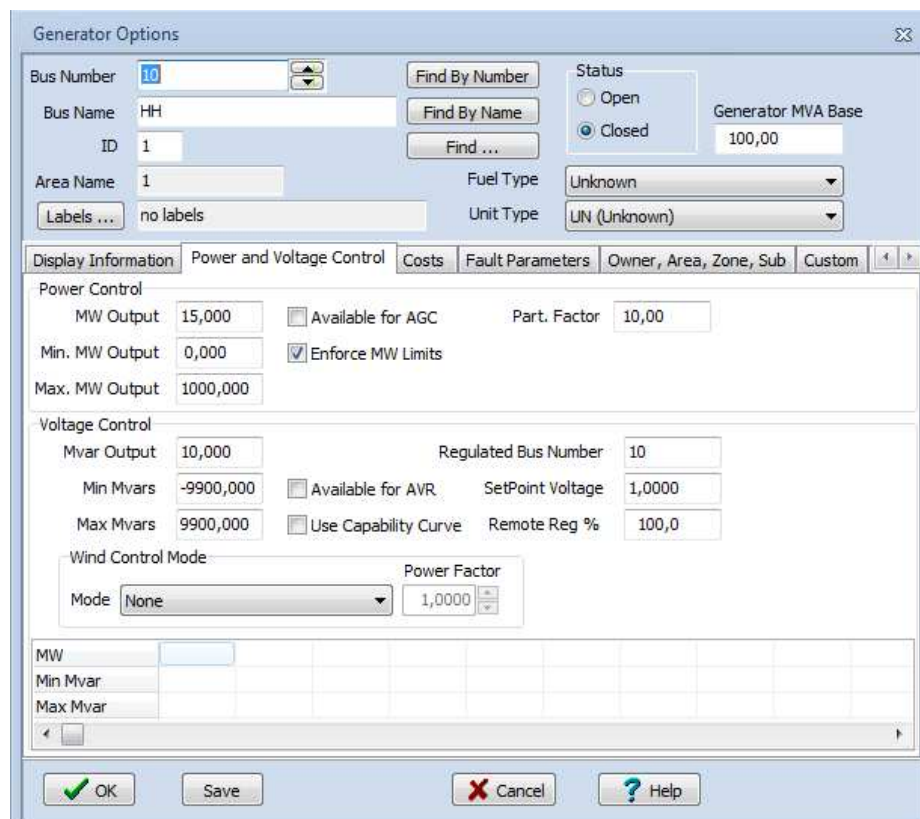


Рисунок 3.6 – Налаштування параметрів генератора

У порівнянні з аварійним режимом схеми без генерації яку зображено у додатку 7, можемо побачити що даний крок призвів до:

- зменшення струмового завантаження лінії А-3;
- значного зниження втрат потужності в аварійному режимі;
- стабілізації напруги у вузлах в аварійному режимі.

2) Не виходячи з режиму відтворення (*Run mode*), вмикаємо автоматичний вимикач (*Circuit breaker*) лінії А-2, переходимо на вкладку інструменти (*Tools*) та відтворюємо схему натисканням на кнопку відтворення(Play), отримуємо схему з генерацією працюючу в нормальному режимі показану у додатку 9.

3.2.4 Додаткова лінія між споживачами 5 та 6

1) Переходимо до режиму моделювання (*Edit mode*) відкриваємо вкладку проектування (*Draw*)/(*Network*)/(*Transmission line*), проводимо лінію між шинами високої напруги підстанцій 5 та 6. Отримуємо замкнену мережу і споживачів 5 та 6 які мають двостороннє живлення. Див. рис. 3.7. Як результат маємо зрівняні напруги на шинах високої напруги підстанцій 5 та 6. Втрати в масштабах загальної мережі не змінилися.

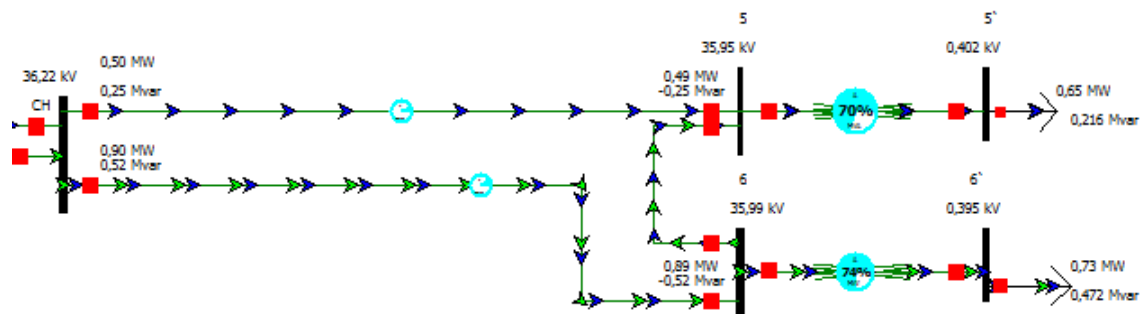


Рисунок 3.7 – Фрагмент, відтвореної мережі, замкненого контуру споживачів 5 та 6

3.3 Оцінка ефективності проведеного удосконалення

Підіб'ємо підсумки виконаних вдосконалень.

1) *Оцінка ефективності заміни класу напруги.*

Заміну основного класу напруги на 110кВ було прийнято недоцільним, адже падіння напруги на шині високої напруги підстанції 4-го споживача складає більш ніж 10%, у зростає генерація реактивної енергії у порівнянні з вихідною схемою, значно зростає генерація реактивної потужності, при обриві найбільш завантаженої лінії А-2 отримуємо перенавантаження на лінії А-3 у 130% ,а падіння напруги ,на стороні високої напруги підстанції споживача 2, складає більш ніж 70%, див. рис. 3.3. Отже відмовляємось від даного вдосконалень бо лінії занадто довгі, а навантаження за великі для 110кВ.

					БР3.6.141.413 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

2) Оцінка ефективності заміни проводів

Заміна проводів на сучасні проводи марки ACCR-TW є дуже ефективним рішенням адже проводи АС-400/22, АС-300/39 та АС-240/32 було замінено на провід Hawk ACCR-TW 477-16Т який є еквівалентним за перерізом до проводу АС-240/32, і головним плюсом є те що дана заміна підіймає пропускну можливість ліній що означає що у подальшому при зростанні споживання електроенергії в 2 або навіть в 3 рази проводи не потребуватимуть заміни. Як результат маємо: - зниження втрат активної та реактивної енергії на 23,6% та 20,3% відповідно;

- зниження генерації реактивної енергії на 51%;
- зниження падіння напруг;
- підвищення пропускну здатності мережі в 2-3рази;

3) Оцінка ефективності додавання розподіленої генерації

Додавання додаткової генерації до підстанцій споживачів 2 та 3, також було дуже гарним рішенням, адже: - дане вдосконалення стабілізує роботу мережі навіть при обриві найбільш завантаженої лінії А-2, що є дуже позитивним так як мережа включає в себе споживачів I та II категорії які потребують безперебійного електропостачання;

- в нормальному режимі на усіх сторонах високої напруги, крім 4-ї підстанції, маємо напругу близьку до генераторної;
- втрати в мережі при роботі обох додаткових генераторів падають в 2 рази порівняно з вихідною схемою;

4) Оцінка ефективності додавання лінії між вузлами 5 та 6

Додаткова лінія між споживачами 5 та 6 підіймає надійність мережі та додає можливість появи споживача I або II категорії при споживачеві 5 або 6.

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Виробниче середовище є частиною техносфери з високою концентрацією негативних факторів. Основними носіями травматичних та шкідливих факторів у виробничому середовищі є механічні пристрої, біологічно та хімічно активні предмети праці, джерела енергії, нерегульовані дії працівників, порушення режиму та організації діяльності, а також відхилення від сприятливих параметри мікроклімату.

Травматичні та шкідливі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Фізичні фактори - це машини і механізми які рухаються, підвищений шум і вібрація, електромагнітне та іонізуюче випромінювання, недостатня освітленість, підвищена статична електрика, підвищена напруга в електромережі тощо. Хімічні фактори - речовини та сполуки, які відрізняються за агрегатним станом і надають токсичний, дратівливий, чутливий, канцерогенний та мутагенний вплив на організм людини та впливають на їх репродуктивну функцію. Біологічні фактори - патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси тощо) та продукти їх важливої діяльності, а також тварини та рослини. Психофізіологічні фактори - фізичні перевантаження (статичні та динамічні) та нейропсихологічні (розумові перевантаження, перевантаження аналізатора, рівномірність роботи, емоційні перевантаження).

Якщо в робочій зоні не передбачені комфортні умови праці, джерелом фізичних шкідливих факторів може бути підвищення або зниження температури повітря в робочій зоні, підвищення або зниження атмосферного тиску, підвищення вологості та швидкості повітря, неправильне освітлення (нестача світла), підвищена яскравість, зниження контрастності, посилений світловий потік. Шкідливі наслідки виникають і тоді, коли в робочій зоні не вистачає кисню в повітрі. Фактичні умови виробництва характеризуються сукупністю негативних факторів, а також рівнем шкідливих факторів та ризиком травмування.

Під час експлуатації електроустановок сервісний персонал наражається на такі небезпечні та шкідливі фактори:

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		43

- підвищення рівня електромагнітного випромінювання;
- збільшення напруги в електричному ланцюзі, яке може бути короткозамкненим організмом людини.

Джерелами негативного впливу на виробництво є не лише технічні пристрої. На рівень травматизму впливає психофізичний стан і дії працівників. Вплив негативних факторів виробничого середовища призводить до травматизму та професійних захворювань працівників.

Електричний струму може завдати різний вплив на живі клітини, проходячи через нього, тепловий, електролітичний, механічний та біологічний.

Механічний вплив призводить до розшарування шкіри та внутрішніх органів внаслідок електродинамічного впливу, розриву тканин тіла, а також миттєвого руйнування тканинних рідин і парів крові. Електролітична дія струму порушує його фізико-хімічний склад і впливаю є на розпад органічних рідин, у тому числі крові. Тепловий вплив на організм проявляється опіками певних частин тіла та нагріванням органів, розташованих на шляху протікання струму, що може призвести до значних функціональних порушень. Біологічний вплив струму проявляється у подразненні та стимулюванням живих тканин організму, а також порушенням внутрішніх біологічних процесів [6].

4.1 Забезпечення безпеки робіт в електроустановках

Робота без зняття напруги на струмовідних частинах (під напругою) – робота виконується з дотриманням до струмовідних частин, що знаходяться під напругою чи на відстані від цих струмовідних частин менш допустимих (в мережах до 1 кВ – не нормується, окрім повітряних ліній, для яких відстань, (0.6 м).

Знімати і встановлювати запобіжники слідє при знятій напрузі. Встановлювати і знімати запобіжники, що знаходяться під напругою, допускається але без навантаження. Під напругою і з навантаженням дозволяється знімати і встановлювати запобіжники вторинних колах. При знятті і установці

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						44
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

запобіжників під напругою в електроустановках до 1кВ необхідно користуватися ізоляційними кліщами або рукавичками і засобами захисту обличчя і очей.

Роботи зі зняттям напруги - коли з струмопровідних частин електроустановки, на якій проводяться роботи, знята напруга і прийняті заходи, що перешкоджають подачі напруги до місця роботи [7].

4.1.1 Технічні заходи, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках

1. Провести необхідні відключення і прийняти заходи, що перешкоджають подачі напруги на місце роботи внаслідок помилкового або мимовільного включення комутаційного апарату.

2. На приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційних апаратів вивісити заборонні плакати.

3. Перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, які мають бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом

4. Встановити заземлення (включити заземлюючі ножі або встановити переносні заземлення).

5. Вивісити вказівні плакати "Заземлено", захистити при необхідності робочі місця і що залишилися під напругою струмопровідні частини, вивісити застережливі і приписуючі плакати.

У електроустановках до 1 кВ для недопущення подачі напруги до місця робіт повинні бути зняті запобіжники. За відсутності в схемі запобіжників запобігання помилкового включення комутаційних апаратів має забезпечуватись замиканням ручки відривання або дверей шафи, закриття кнопок, установка між контактами комутаційного апарату ізолюючих накладок. Відключене положення комутаційних апаратів напругою до 1 кВ з недоступними для огляду контактами визначається перевіркою відсутності напруги на їх затисках або затисках устаткування, що включається цими апаратами. Перевіряється відсутність напруги покажчиком напруги, справність якого перед застосуванням має бути

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		45

встановлена за допомогою призначених для цій меті спеціальних приладів або наближенням до струмопровідних частин, що знаходиться під напругою.

У розподільних пристроях установок до 1 кВ перевіряти відсутність напруги дозволяється одному працівникові з числа оперативного персоналу, що має 3 групу по електробезпеці. Для перевірки відсутності напруги допускається застосовувати заздалегідь перевірений вольтметр. Не допускається користуватися контрольними лампами.

Переносне заземлення спочатку підключають до заземлюючого пристрою, а потім після перевірки відсутності напруги встановити на струмопровідній частині [7].

4.2 Служба охорони праці на підприємстві

У компанії з 50 і більше працівниками роботодавець створює службу охорони праці відповідно до стандартних правил, затверджених центральним органом виконавчої влади, спеціально уповноваженим з нагляду за охороною праці.

У компанії, в якій працює менше 50 осіб, функції служби охорони праці можуть виконувати люди з відповідною підготовкою.

У компанії, в якій працює менше 20 чоловік, функції працівників охорони праці можуть виконувати найняті за контрактом фахівці .

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Керівники і фахівці служби охорони праці за посадою і зарплатою прирівнюються до керівників і спеціалістів основних технічних і виробничих служб. У разі виявлення порушень охорони праці, фахівці служби охорони праці мають право: - надати інструкції, направлені на обов'язкове усунення недоліків, керівництвом структурних підрозділів, доступних для виконання, для отримання від них необхідної інформації, документації та роз'яснень з охорони праці;

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		46

- вимагати звільнення осіб, які не пройшли медичний огляд, навчання, інструктаж, перевірку знань і не мають доступу до відповідної роботи або не дотримуються вимоги нормативних актів з охорони праці;

- зупинити виробничі роботи, ділянки, машини, механізми, обладнання та інші засоби виробничого процесу в разі порушень, які можуть загрожувати здоров'ю і життю працівників;

- направити роботодавцю заяву про притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги безпеки роботи.

Замовлення спеціаліста з охорони праці може бути відкликane лише роботодавцем. Ліквідація служби охорони праці допускається тільки в разі ліквідації підприємства чи припинення використання праці, найнятої фізичної особи.

Комісія з охорони праці.

Трудовий колектив може заснувати комісію з охорони праці для забезпечення пропорційної участі працівників у вирішенні будь-яких проблем безпеки, гігієни праці та умов праці на розсуд робочої сили.

Комісія складається з представників роботодавця та профспілки, а також уповноважених осіб, фахівців з безпеки, гігієни праці та інших служб компанії у відповідності зі стандартними нормами, затвердженими центральним органом виконавчої влади, спеціально уповноваженим для нагляду за охороною праці. Рішення комісії носять рекомендаційний характер [8].

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		47

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розглянуто деякі варіанти вдосконалення електричних мереж, на прикладі магістральної мережі, з основним класом напруги 220кВ, на шість підстанцій, три підстанції 220/10кВ, одна 220/35/6кВ та дві 35/0,4кВ.

У ході роботи було вивчено програмний комплекс PowerWorld Simulator. Досконально переглянуто функції та режими роботи. Набуто теоретичних навичок у використанні програмного комплексу, засвоєно їх на практиці при моделюванні та модернізації вихідної схеми магістральної мережі.

Обрані варіанти вдосконалення було реалізовано та досліджено у програмному комплексі PowerWorld Simulator. В результаті вдосконалення було:

- перевірено можливість переходу з основного класу напруги 220кВ на 110кВ. Шляхом аналізування отриманих результатів було прийняте рішення відмовитись від даного вдосконалення бо лінії занадто довгі, а навантаження за великі для 110кВ;

- знижено генерації реактивної енергії на 51%;

- знижено падіння напруг у мережі;

- підвищено пропускну здатність мережі в 2-3рази;

- підвищено стабільність роботи мережі навіть при обриві найбільш завантаженої лінії А-2, що є дуже позитивним так як мережа включає в себе споживачів I та II категорії які потребують безперебійного електропостачання;

- в нормальному режимі на усіх сторонах високої напруги,крім 4-ї підстанції, досягнуто напруги дуже близької до генераторної;

- знижено загальні втрати мережі в 2 рази порівняно з вихідною схемою,при роботі обох додаткових генераторів;

- піднято надійність мережі та додано можливість появи споживача I або II категорії при споживачеві 5 або 6.

					<i>БР3.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						48
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брошюра: АССР композитный усиленный провод; з сайту www.3MACCR.ru
2. В. И. Идельчик - Электрические системы и сети Энергокомиздат, 1989. – 592с.
3. В. М. Жабцев Главная книга электрика, 2016. – 208с.
4. Закон України "Про охорону праці" (згідно з Постановою Верховної Ради Українивід 14 жовтня 1992 року N 2695-ХІІ)
5. М. А. Никіфоров Лекції по програмі занять: Безпечна експлуатація електроустановок споживачів. – 47с.
6. М. С. Сегеда Підручник: Математичне моделювання в електроенергетиці. – 2-ге вид. – м. Львів, 2013 . – 606 с.
7. Методичні вказівки до виконання дипломних проектів (робіт) для студентів спеціальності 141 «електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми „електротехнічні системи електроспоживання” усіх форм навчання /І. Л. Лебединський, С. М. Лебеда, В. І. Романовський, В. С. Ноздренков, М. В. Петровський. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – 59 с.
8. НПАОП 40.1-1.21-98 правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
9. О. В. Хоменко Математичні задачі енергетики, вид. – Київ 2016. – 109с.
10. П. О. Василега Електропостачання – Суми : Сумський державний університет, 2019р. – 520с.
11. Правила улаштування електроустановок, вид. – Київ, 2017. – 617с.
12. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования /Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. Энергоатомиздат, 1989. – 605с.
13. PowerWorld Simulator Quick - Start Guide, 2013. – 52с.
14. <https://www.PowerWorld.com/company/history> (Електронне посилання)
Офіційний сайт компанії PowerWorld

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		49

15. <https://mobile.ruscable.ru/article/1326/> (Электронные ссылки)

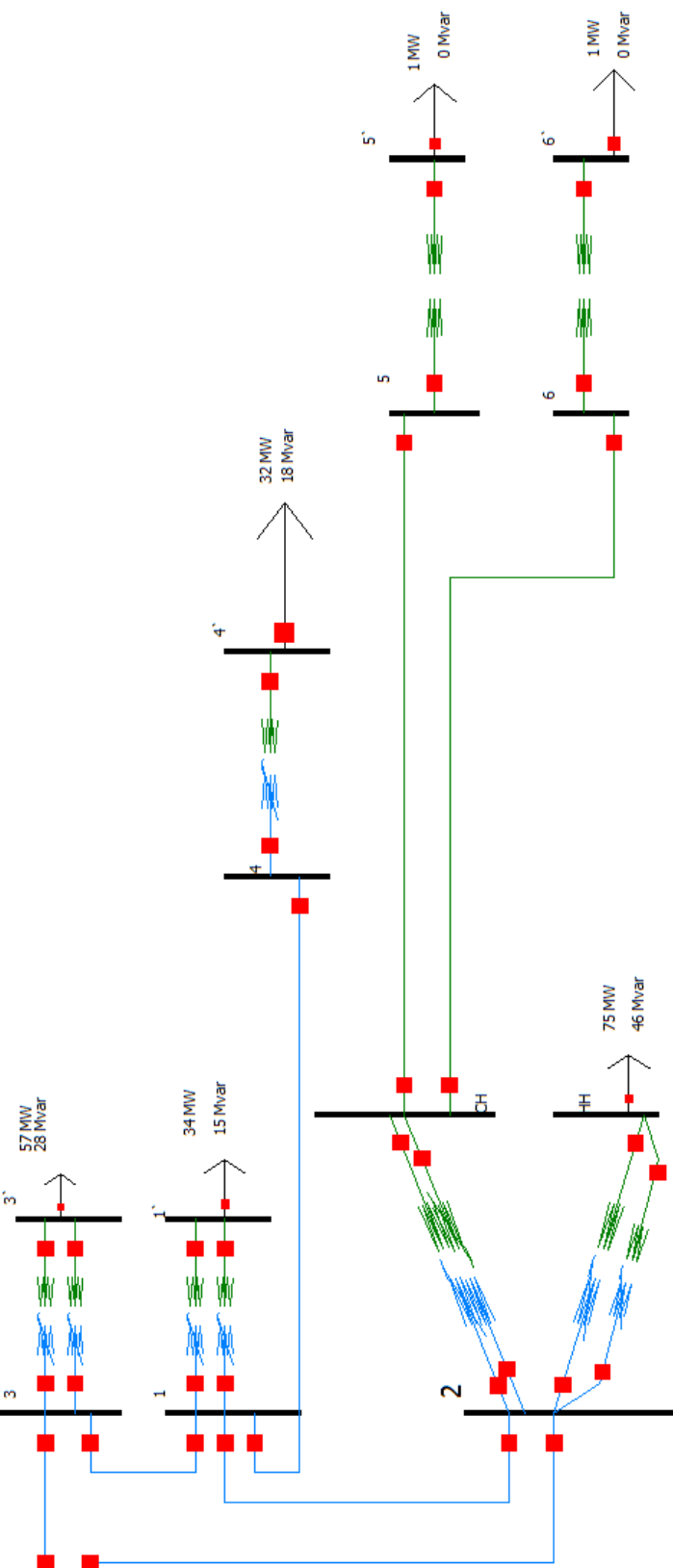
Неизолированные провода воздушных линий электропередач.

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						50
Изм.	Лист	№ докв.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

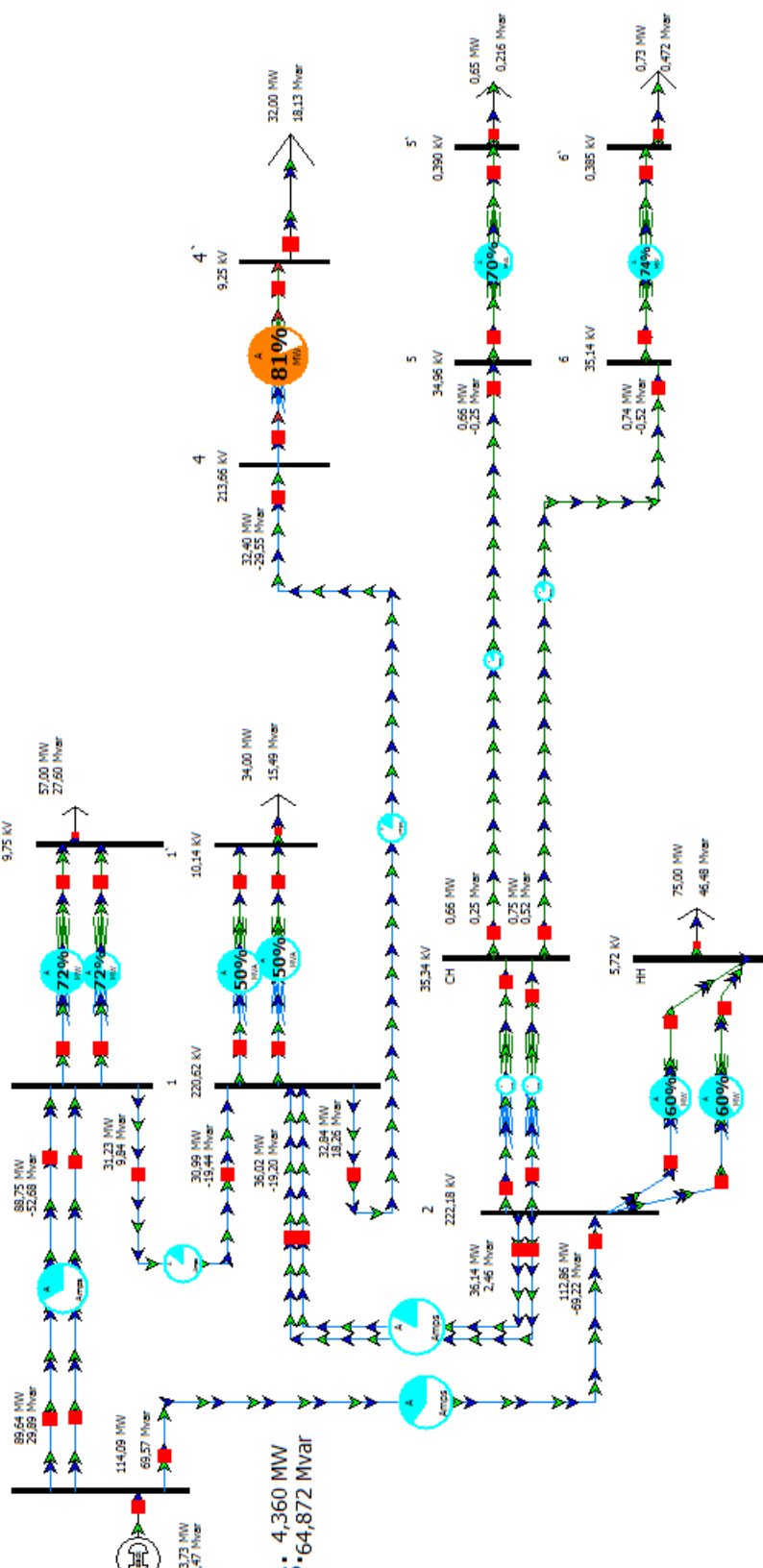
Додаток 1

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						51
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

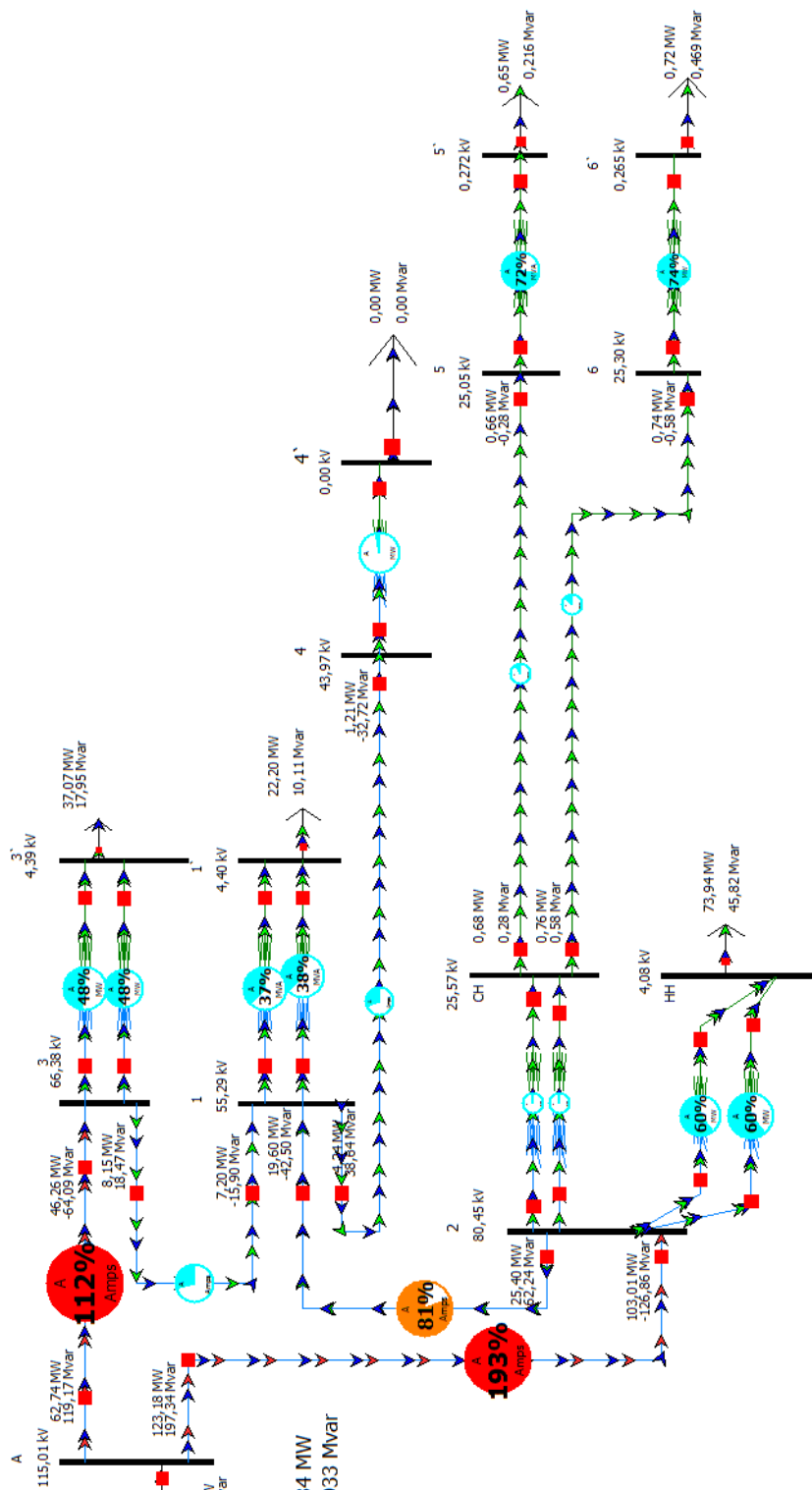


Додаток 2

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						53
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		



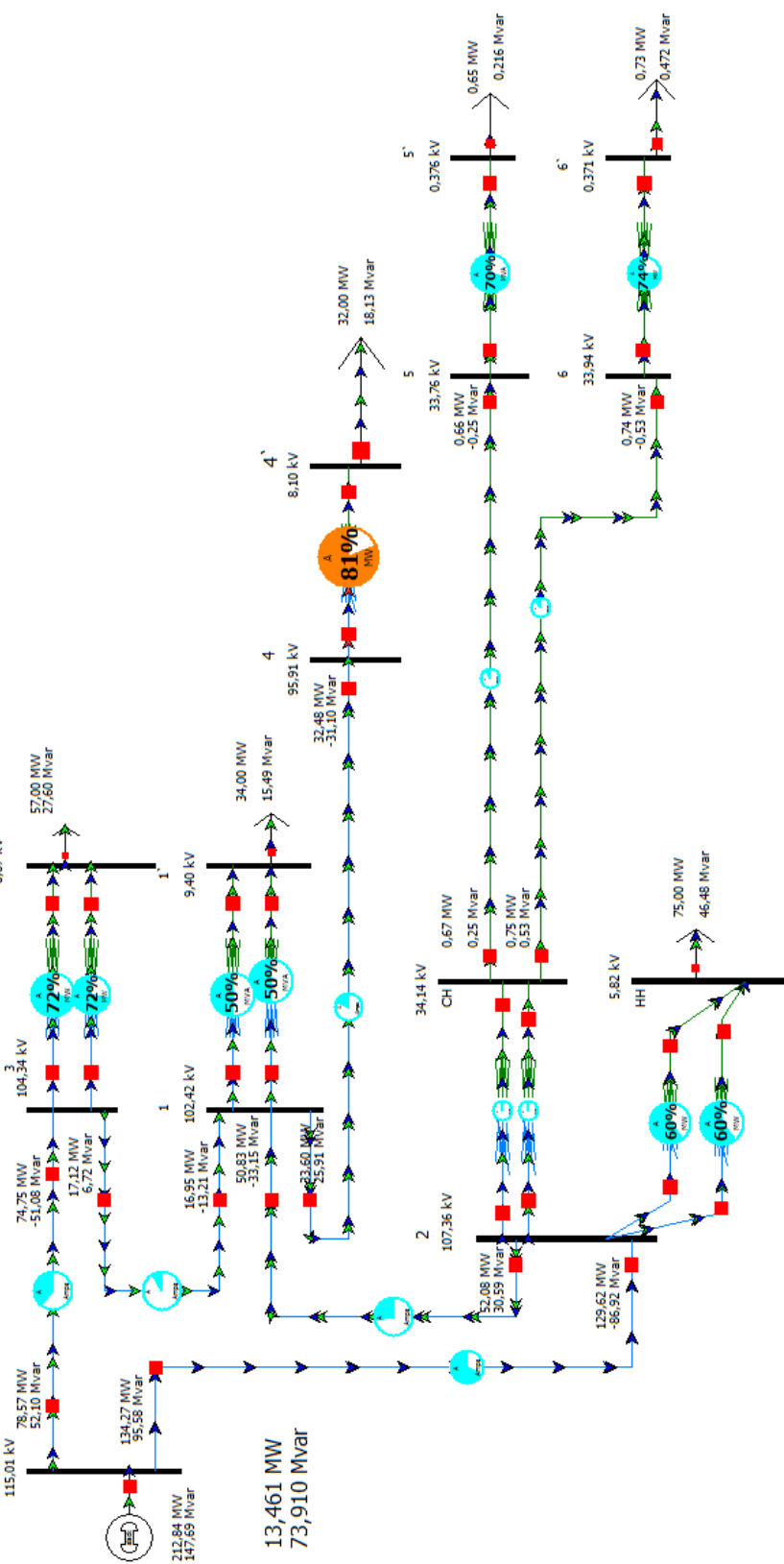
Изм.	Лист	№ доквм.



Апр.
55

Додаток 4

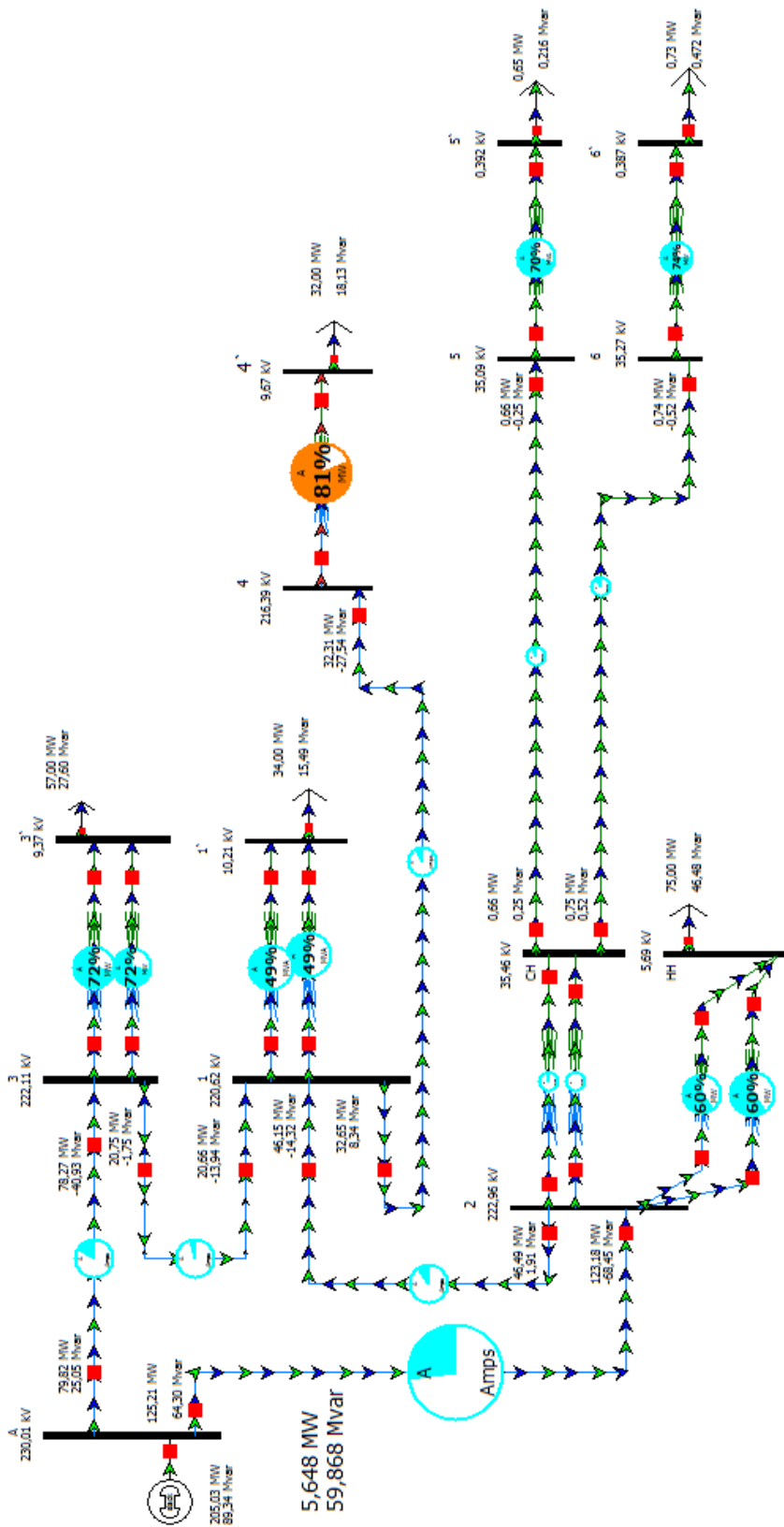
					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						56
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		



Додаток 5

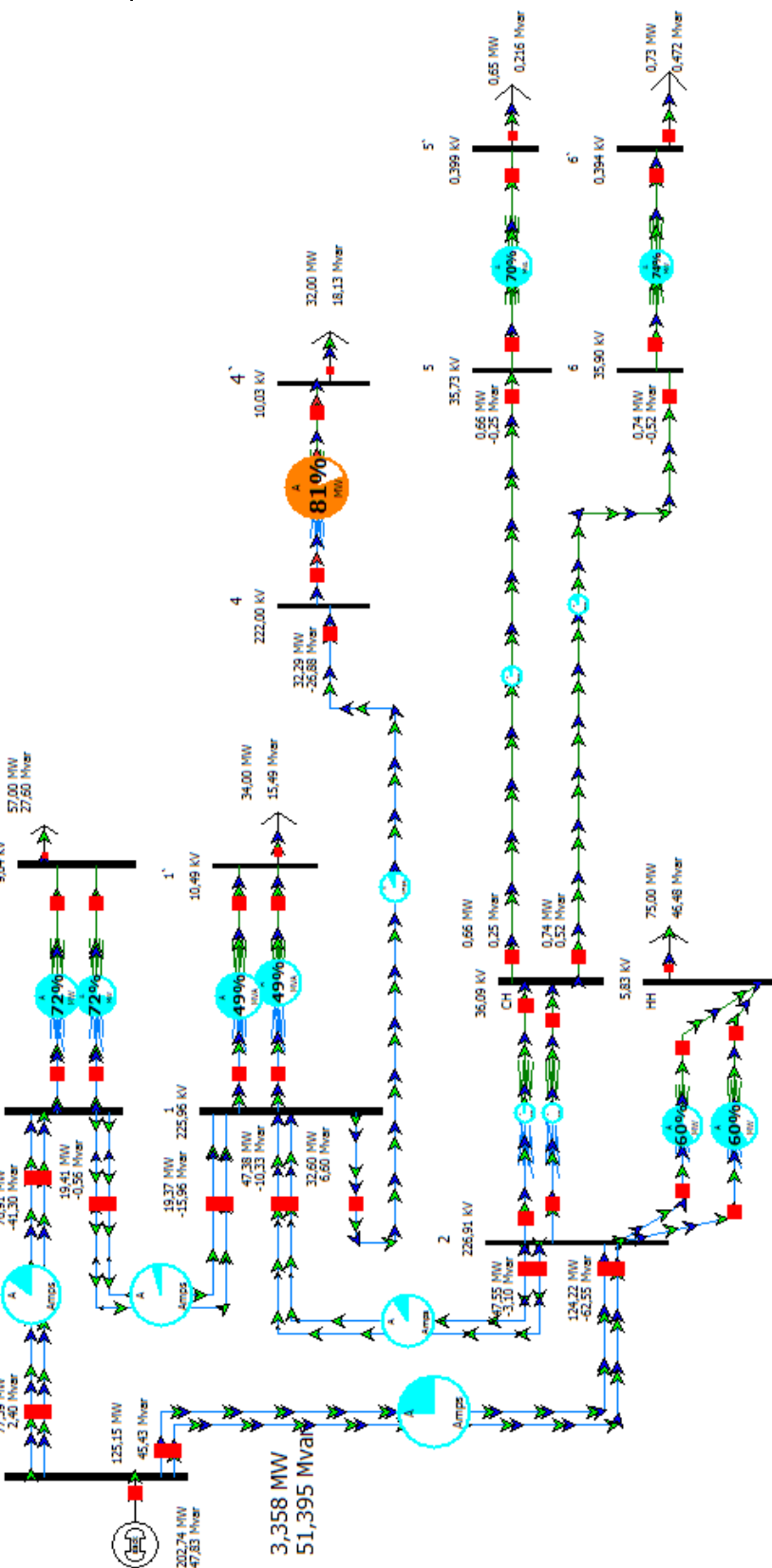
					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						58
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

Изм.	Лист



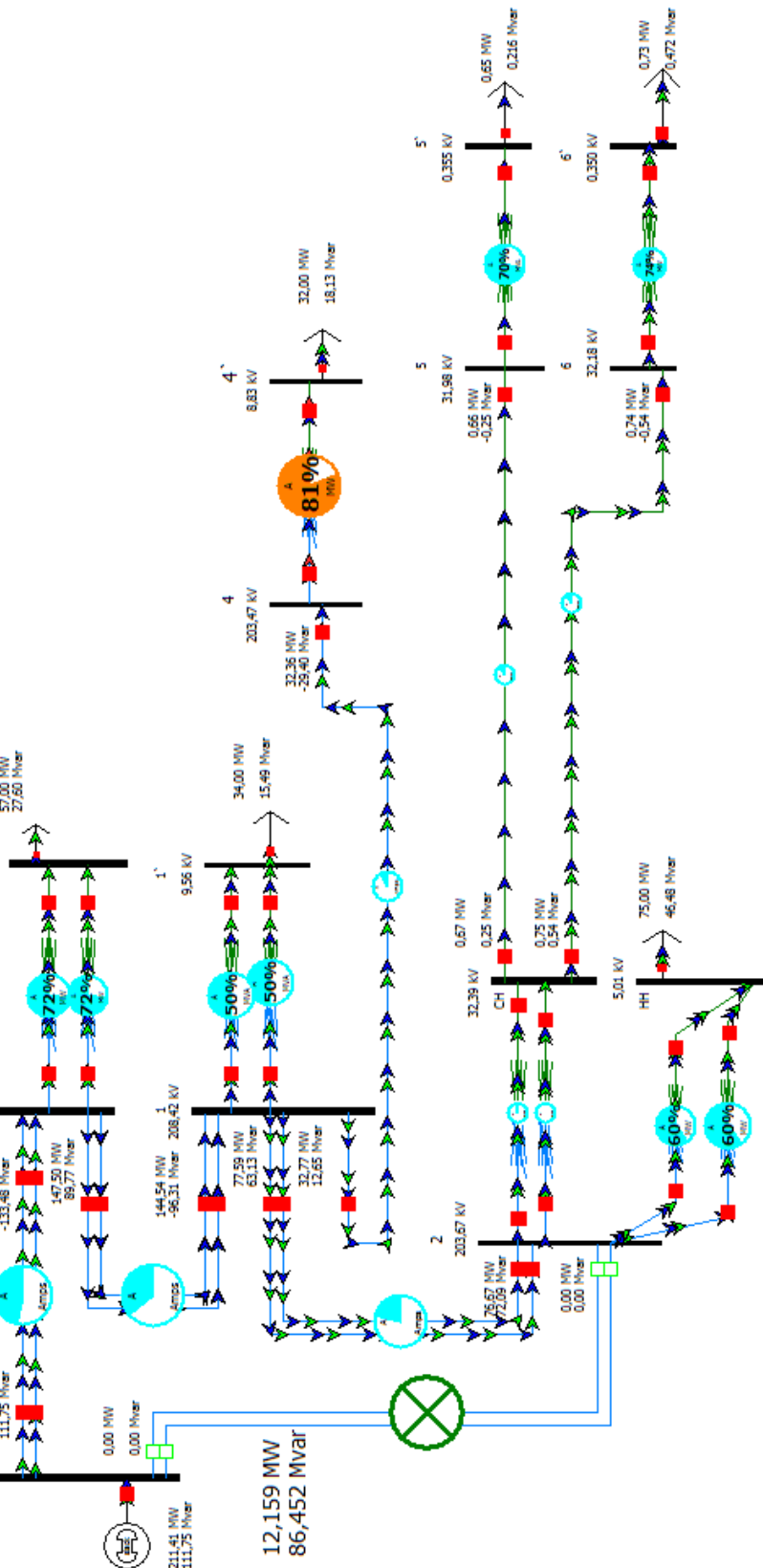
Додаток 6

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						60
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		



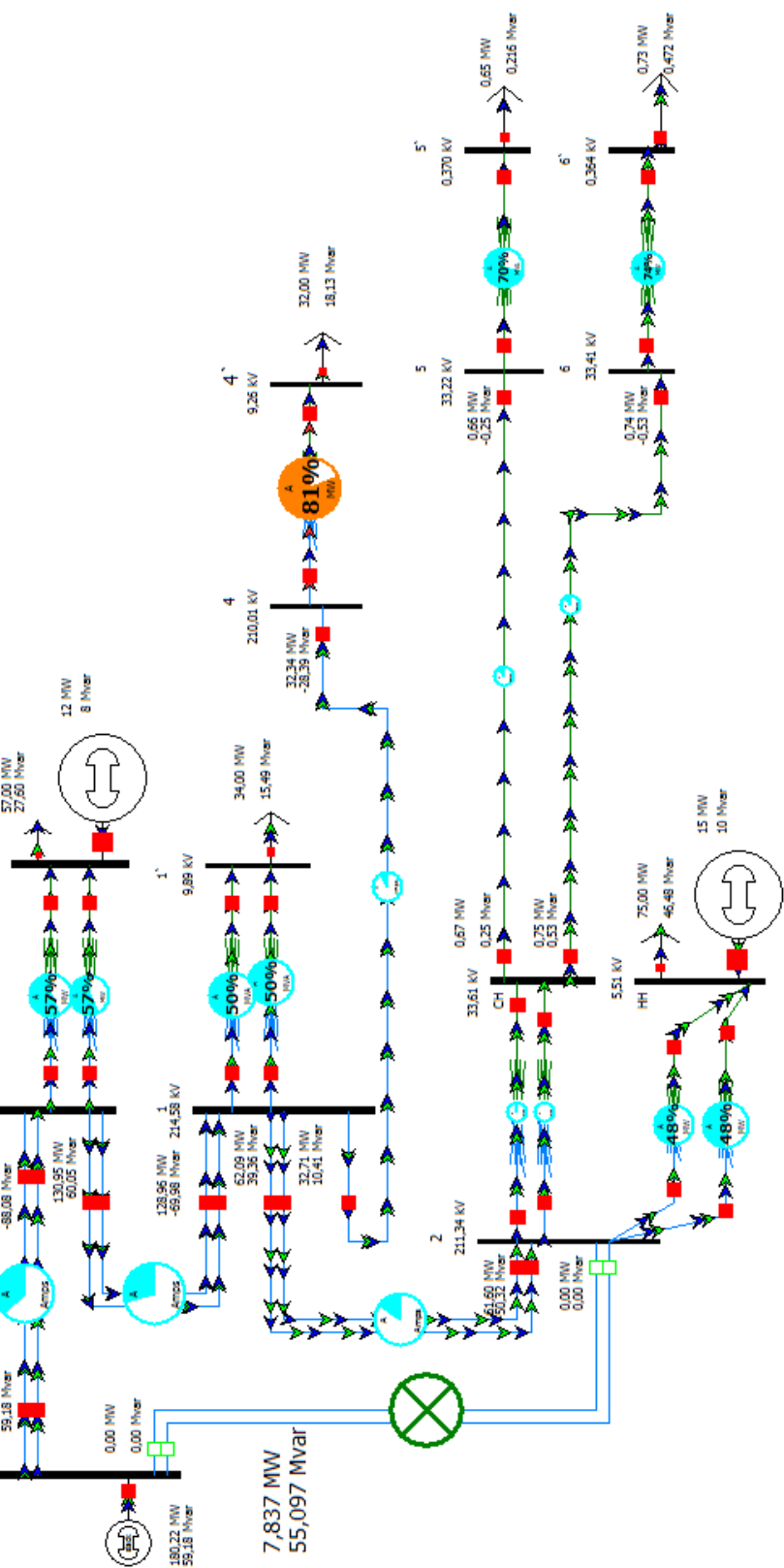
Додаток 7

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						62
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		



Додаток 8

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						64
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		



ses: 7,837 MW
55,097 Mvar

BP3.6.141.413 ПЗ

Арк.

65

Додаток 9

					<i>БРЗ.6.141.413 ПЗ</i>	Арк.
						66
Изм.	Лист	№ доквм.	Підпис	Дата		

